



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

PROYECTO FIN DE CARRERA

SIMULACIÓN NUMERICA DE IMPACTO CONTRA POSTE DE TRÁFICO Y CORRELACIÓN EXPERIMENTAL

Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica

Universidad de Zaragoza

Autor: Juan Gonzalvo Arié

Director: Ramón Miralbés Buil

Convocatoria: Septiembre 2012



En primer lugar quisiera agradecer a Ramón Miralbés la oportunidad que me ha brindado para realizar este proyecto y aprender de él, de igual manera agradecer al Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación el permitirme realizarlo.

A mis padres, porque su constante apoyo, consejos y experiencia siempre me han ayudado y al resto de mi familia, por vuestra confianza en mí.

A todos mis profesores, desde el colegio hasta la universidad, porque todos ellos me han aportado algo positivo en mi formación y por todo lo que he aprendido gracias a vosotros.

A todos mis amigos y compañeros de la universidad, porque sin todos vosotros, el trabajo en equipo, vuestros consejos, y vuestra ayuda seguro que no lo habría conseguido.

INDICE:

1.- INTRODUCCIÓN.....	5
1.1- OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	7
1.2- METODOLOGÍA.....	7
1.3- NORMA.....	10
2.- ELEMENTOS A SIMULAR.....	14
2.1- POSTE PRFV.....	14
2.2- POSTE ACERO.....	16
3.- MODELADO Y DISCRETIZACION DE LA ESTRUCTURA.....	17
4.- CONDICIONES DE CONTORNO.....	23
5.- TIPOS DE MATERIALES.....	27
5.1- PRFV.....	27
5.2- ARENA.....	31
5.3- HORMIGÓN.....	32
5.4- PVC.....	33
5.5- ACERO.....	34
5.6- GOMA.....	37
5.7- TIERRA.....	37
6.- ANALISIS DE RESULTADOS.....	39
6.1- ASI.....	39
6.2- THIV.....	39
7.- RESULTADOS.....	41
7.1- RESULTADOS POSTE DE PRFV.....	41

7.2- RESULTADOS POSTE DE ACERO.....	63
7.3- COMPARATIVA DE RESULTADOS.....	76
8.- CONCLUSIONES.....	77
8.1.- BIBLIOGRAFÍA.....	78
8.2.- CONSULTAS WEB.....	78
ANEXOS.....	79

1.- INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad la correlación de los ensayos numéricos mediante herramientas informáticas con los ensayos reales para el diseño de elementos de señalización e iluminación para vías. Con ello se pretende obtener una metodología de cálculo numérico que permite obtener los mismos resultados que los obtenidos experimentalmente y con ello poder rediseñar este tipo de elementos de una forma sencilla, rápida y económica mediante lo que se conoce como ensayo virtual, cumpliendo la norma UNE-EN 12767 (Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento en carretera. Requisitos y métodos de ensayo).

Se trata de un proyecto de investigación llevado a cabo por el departamento de Ingeniería y Fabricación de la Universidad de Zaragoza.

La motivación de la realización de este proyecto se debe al desarrollo de un nuevo poste de tráfico realizado en resina de poliéster y fibra de vidrio que aporta mejoras en seguridad y durabilidad al tiempo que minimiza los costes de mantenimiento. Dado el rápido crecimiento que esta experimentando el número de usuarios en la carretera, se ha producido un importante aumento de investigaciones destinadas a la seguridad vial. Actuar sobre el nivel de seguridad pasiva de los elementos de la vía, como farolas o postes de señalización, conlleva una importante disminución de las consecuencias de los accidentes sufridos por aquellos vehículos que colisionan tras salirse de la calzada. El incremento de normativas internacionales que afectan al diseño y comportamiento de este tipo de estructuras, acelera la necesidad de innovación.



Figura 1: Colisión de un vehículo contra un poste de tráfico



Figura 2: Ensayo de una colisión de un vehículo contra un poste de tráfico

1.1.- OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

Con este proyecto se busca aplicar los conocimientos adquiridos en asignaturas como Elasticidad y Resistencia de Materiales y Estructuras, al mundo real. Para ello seremos capaces de usar las leyes apropiadas en cada situación y ayudarnos de los programas informáticos de ingeniería para las operaciones complejas.

El alcance de este proyecto va dirigido a todas las empresas que se dediquen a la fabricación de postes de tráfico, que necesiten o deseen invertir en este tipo de estructuras. De esta forma, las empresas podrán ser capaces de reducir gastos ocasionados en los múltiples experimentos realizados para la obtención de datos y a su vez obtenerlos de manera más rápida y fiable.

1.2.- METODOLOGÍA

En este proyecto para realizar el diseño del poste de PRFV se partirá de las medidas normalizadas de un poste de tráfico ya existente facilitadas por la empresa Jerol, especializada en la fabricación de columnas de alumbrado, señalización vertical y semáforos de seguridad. En concreto hemos utilizado una columna de PRFV cuyo diámetro exterior es 219mm y su altura 4,5m. Para realizar el diseño del poste de acero se partirá de unos datos facilitados por la universidad tecnológica de Helsinki. El diámetro exterior del poste de acero será de 198mm en el extremo inferior del poste y 88mm en el extremo superior y su altura 4,5m.

Con estos datos iniciales, se desarrollará el diseño de la estructura mediante el programa MSC PATRAN. La estructura estará discretizada mediante el Método de los Elementos Finitos (Anexo A) para un mejor análisis de su comportamiento. Una vez diseñada la estructura, se realizarán los cálculos de los ensayos mediante el programa LS-DYNA, que resuelve análisis dinámicos de modelos 3D basándose también en el Método de elementos finitos; posteriormente se utilizará el programa DIADEM, que es software diseñado especialmente para ayudar a los ingenieros para

inspeccionar, analizar y reportar rápidamente datos de medidas y que nos permitirá obtener los datos necesarios para la realización de este proyecto.

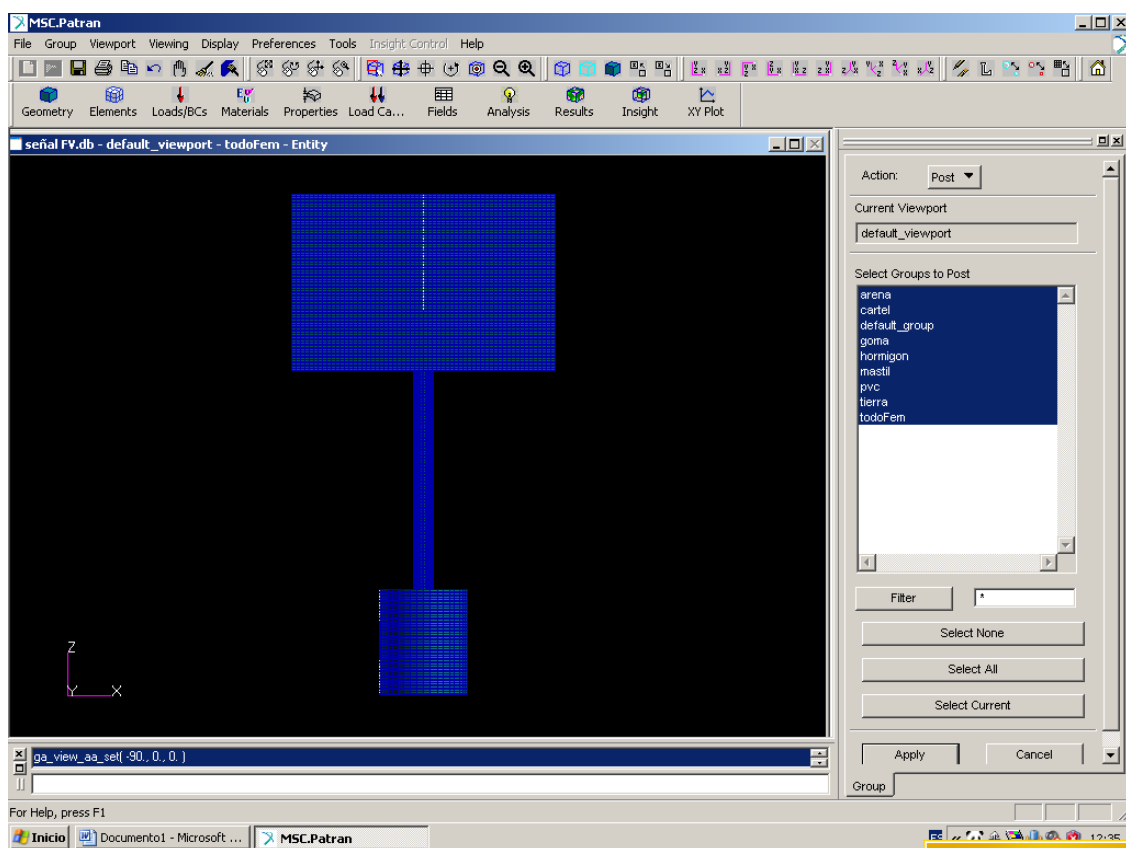


Figura 3: Imagen del poste de trafico realizado con Msc Patran

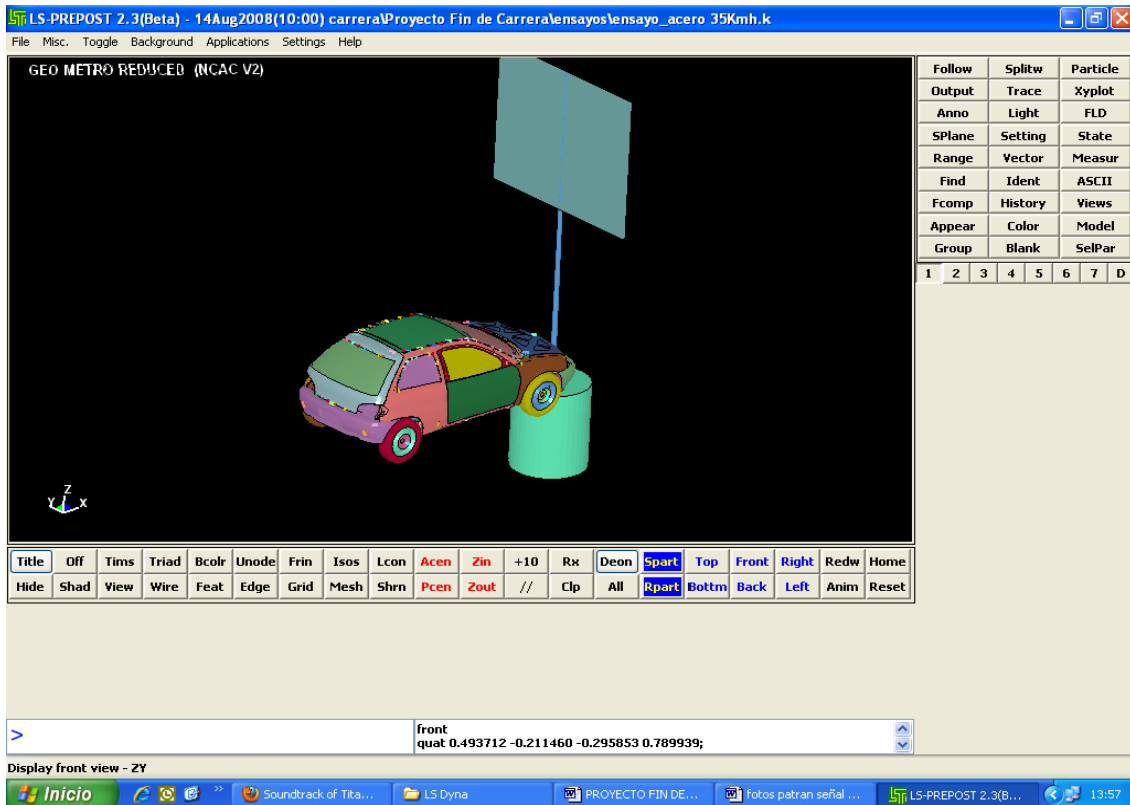


Figura 4: Imagen del ensayo realizado con LS-Dyna

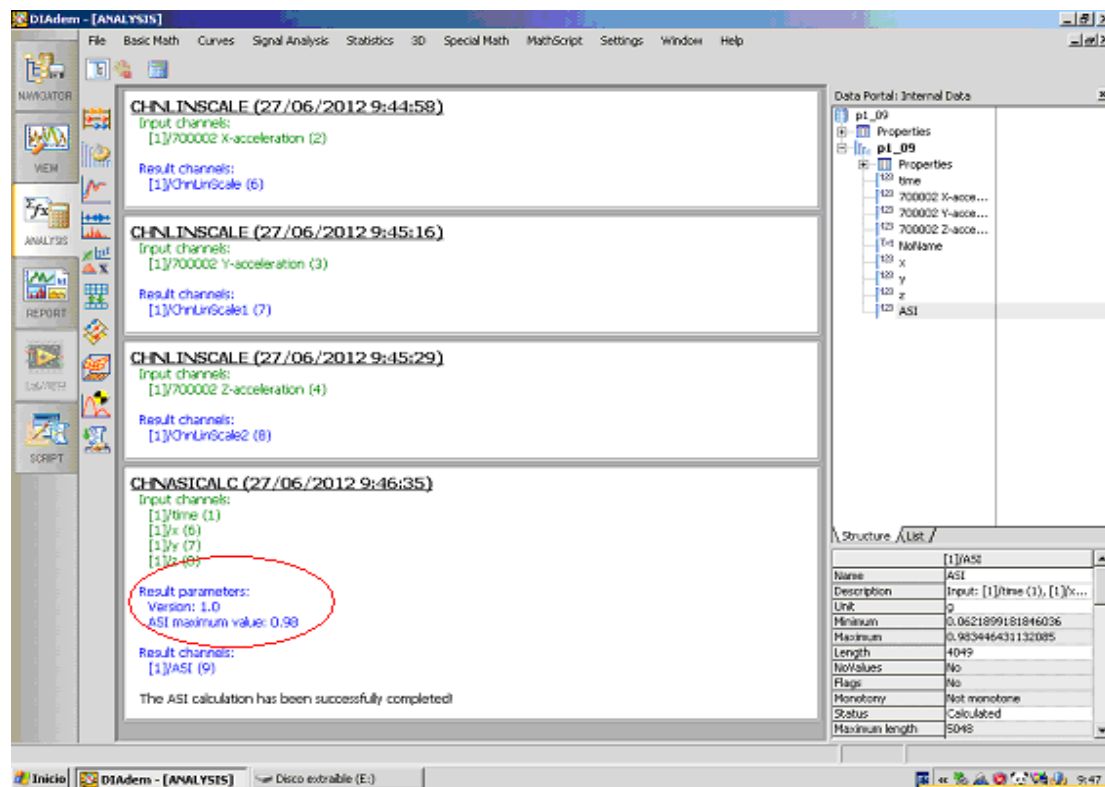


Figura 5: Imagen de los resultados mostrados con el programa Diadem

1.3.- NORMA

Para la realización del proyecto nos hemos basado en la norma UNE-EN 12767:2007, Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento de la carretera, elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 226 Equipamiento de carreteras.

Esta norma europea proporciona una base común para los ensayos de impacto de vehículos con estructuras soporte del equipamiento de la carretera, considerando, en términos de seguridad pasiva, tres categorías de estructuras soporte:

- de alta absorción de energía (HE);
- de baja absorción de energía (LE);
- sin absorción de energía (NE).

Las estructuras soporte con absorción de energía frenan al vehículo de forma considerable y, como consecuencia, pueden reducir el riesgo de accidentes secundarios con las estructuras, árboles, peatones y otros usuarios de la carretera.

Las estructuras soporte sin absorción de energía permiten que el vehículo siga avanzando después del impacto, pero con una reducción limitada de su velocidad. Comparadas con las estructuras soporte con absorción de energía, las estructuras soporte sin absorción de energía pueden disminuir el riesgo de daños primarios.

En esta norma europea se especifican varios niveles de comportamiento, definidos según los dos principales criterios relativos a la eficacia de cada una de las tres categorías de absorción de energía de las estructuras soporte, en caso de impacto.

Las estructuras soporte que no cumplen los requisitos de comportamiento para la seguridad pasiva son de clase 0. Existen cuatro niveles de seguridad de los ocupantes. Los niveles 1, 2 y 3 aseguran respectivamente niveles de seguridad crecientes disminuyendo la gravedad del impacto. Para estos niveles son necesarios dos ensayos:

- ensayo a 35 Km/h para asegurar el funcionamiento satisfactorio de la estructura soporte a baja velocidad;
- ensayo con la clase de velocidad de impacto (50, 70 y 100 Km/h).

El nivel 4 incluye las estructuras soporte de alto nivel de seguridad, clasificadas mediante un ensayo simplificado realizado a la velocidad de impacto de la clase determinada. En todos los ensayos se utiliza un vehículo ligero con el fin de asegurar que los niveles de severidad de los impactos son satisfactoriamente alcanzados y compatibles con la seguridad de los ocupantes de un vehículo ligero.

Los diferentes niveles de seguridad de los ocupantes, así como las categorías de absorción de energía, permiten a las administraciones de carreteras nacionales y locales especificar el nivel de eficacia o comportamiento de una estructura soporte del equipamiento de la carretera, en términos de efectos sobre los ocupantes de un vehículo, en caso de impacto con la estructura.

Seguridad de los ocupantes

Categorías de absorción de energía	Nivel de seguridad de los ocupantes	Velocidades			
		Ensayo de impacto obligatorio a baja velocidad 35 km/h		Ensayos de impacto con la clase de velocidad 50 km/h, 70 km/h y 100 km/h	
		Valores máximos		Valores máximos	
		ASI	THIV km/h	ASI	THIV km/h
HE	1	1,0	27	1,4	44
HE	2	1,0	27	1,2	33
HE	3	1,0	27	1,0	27
LE	1	1,0	27	1,4	44
LE	2	1,0	27	1,2	33
LE	3	1,0	27	1,0	27

NE	1	1,0	27	1,2	33
NE	2	1,0	27	1,0	27
NE	3	0,6	11	0,6	11
NE	4	Ningún requisito	Ningún requisito		

Tabla 1: Tabla seguridad de los ocupantes

*Índice de severidad de la aceleración (ASI):

El valor máximo del índice ASI con respecto a cada clase de velocidad, categoría de absorción de energía y nivel de seguridad de los ocupantes, no debe ser superior al valor especificado en la tabla anterior.

*Velocidad teórica de choque de la cabeza (THIV):

El valor máximo de la velocidad THIV con respecto a cada clase de velocidad, categoría de absorción de energía y nivel de seguridad de los ocupantes, no debe ser superior al valor especificado en la tabla anterior.

- Especificaciones generales del vehículo de ensayo

El vehículo de ensayo debe ser un vehículo tipo turismo con las características siguientes:

-Masa inercial de ensayo: 825 Kg. \pm 40 Kg. De esta masa, el lastre máximo permitido es de 100 Kg. Los equipos de medición y de registro están incluidos en el lastre;

-Se debe incluir un maniquí, con una masa de 78 kg \pm 5 kg;

-La masa estática total del vehículo debe ser de 900 kg \pm 40 kg;

-La distancia entre las ruedas delanteras y las ruedas traseras (batalla): 1,35 m \pm 0,20 m.

-Ubicación longitudinal del centro de gravedad desde el eje delantero (CGx) 0,90 m \pm 0,09 m. La determinación del centro de

gravedad se realiza sin el maniquí en el vehículo;

- Ubicación lateral del centro de gravedad (CGy): la distancia desde el eje central del vehículo $\pm 0,07$ m;

- Altura del centro de gravedad a partir del suelo (CGz): 0,49 m $\pm \square 0,05$ m;

- Los vehículos a utilizar en los ensayos deben ser modelos de serie representativos de la circulación actual en Europa;

- Los equipos suplementarios del vehículo, que se pudieran considerar importantes para el ensayo, tal como un techo solar, deben de ser del tipo suministrado normalmente por el fabricante o bien aprobados para su uso en el tipo específico de vehículo;

- No está autorizado quitar parte del equipamiento pesado estándar del vehículo con el fin de alcanzar el límite de masa establecido en esta norma.

Los neumáticos se deben inflar con las presiones recomendadas por el fabricante. El estado del vehículo debe satisfacer los requisitos necesarios para la emisión de un certificado de aptitud para circular en carretera en lo relativo a los neumáticos, la suspensión, el alineamiento de las ruedas, y la carrocería. No se deben realizar reparaciones o modificaciones que puedan alterar las características generales del vehículo o invalidar dicha certificación. El vehículo debe estar limpio, y los depósitos de barro que puedan provocar polvo en el momento del impacto se deben eliminar antes de los ensayos.

Durante el impacto y mientras esté situado a menos de 12 m después del punto de impacto, no se debe modificar la trayectoria del vehículo mediante control de la dirección o por cualquier otro medio.

Todos los fluidos están incluidos en la masa inerte del vehículo. No se exige que todos los depósitos estén llenos.

Todos los lastres deben estar perfectamente fijados al vehículo de manera que se respeten los requisitos del fabricante relativos a la distribución de masa en los planos horizontal y vertical.

El maniquí se debe situar en uno de los asientos delanteros, a ser posible en el del conductor, y debe estar sujeto por el cinturón de seguridad.

2.- ELEMENTOS A SIMULAR

La realización de este proyecto se va a llevar a cabo mediante el análisis de dos tipos de elementos, un poste de tráfico fabricado en acero y otro fabricado con poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), con el fin de comprobar y demostrar el distinto comportamiento de la estructura de cada uno de ellos dependiendo del material que los componga.

2.1.- POSTE DE PRFV:

Para realizar el análisis del poste de tráfico de poliéster reforzado con fibra de vidrio, hemos partido inicialmente de las medidas normalizadas facilitadas por la empresa Jerol, especializada en la fabricación de columnas de alumbrado, señalización vertical y semáforos de seguridad. En concreto hemos utilizado una columna de PRFV cuyo diámetro exterior es 219 mm y su altura 4,5 m.

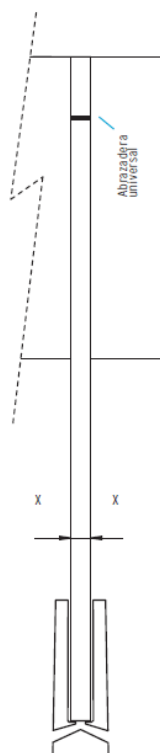


Figura 7: Vista frontal del poste de tráfico

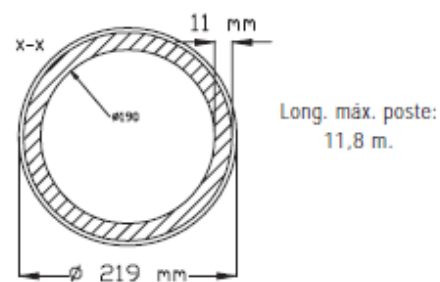


Figura 6: Vista superior del poste de tráfico

A continuación se muestran unas tablas donde podemos observar la ficha técnica y certificados del modelo seleccionado.

Serie SEGURIDAD ABSORCIÓN VARIABLE

HE 35 Km/h - LE 70Km/h - NE 100Km/h

FICHA TÉCNICA

Características

	h máxima m	Ø Ext. mm	Ø Int. mm	Peso (kg)	e fibra mm	e poliolefina mm
Columna Ø114mm	7,8	114	92	53	9	2
Columna Ø140mm	10	140	115	105	10	2,5
Columna Ø168mm	12	168	140	151	11	3
Columna Ø219mm	11,8	219	190	202	11	3,5
Columna Ø273mm	9,5	273	240	223	11,5	5

Certificados

	Forma	Accesorios en punta	Long. insertada cimentación	Clasificación (m)
SEGURIDAD 12767				
COLUMNA Ø114mm	Cilíndrica	Tapón	0,5	NE 100:2
COLUMNA Ø140mm	Cilíndrica	Tapón	1,5	NE 100:3
COLUMNA Ø168mm	Cilíndrica	Tapón	0,7	NE 100:2
COLUMNA Ø219mm	Cilíndrica	Tapón	0,7	NE 100:2
COLUMNA Ø273mm	Cilíndrica	Tapón	1	NE 100:2

Certificados:

UNE EN 12767 Seguridad pasiva de las estructuras de soporte del equipamiento de la carretera: Requisitos y métodos de ensayo.

UNE EN 12899-1 Señales verticales fijas de circulación. Parte 1: Señales fijas.

UNE 135311 Señalización vertical. Elementos de sustentación y anclaje. Hipótesis de cálculo. Marcado CE.

Reglamentos:

R.B.T. Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias.

2.2.- POSTE DE ACERO:

Para realizar el análisis del poste de tráfico de acero, hemos partido inicialmente de las medidas normalizadas facilitadas por la universidad tecnológica de Helsinki.

A continuación se muestra una tabla donde podemos observar la ficha técnica y certificados del modelo seleccionado.

Test House: Helsinki University of technology		EN 12767
Dimensión: \varnothing 198 mm - \varnothing 88 mm		
Material: 2mm S 235 JR G2		
Altura: 4,5m		
Ensayo a 35km/h		Ensayo a 100 km/h
Velocidad de Impacto: 35km/h		Velocidad de Impacto: 100km/h
ASI: 0,5		ASI: 0,8
THIV: 19km/h		THIV: 27km/h

Como la altura del poste debía de ser 4,5 m para que fuera exactamente igual a la altura del modelo realizado con PRFV, se han modificado proporcionalmente las medias que aparecen en la tabla anterior, obteniendo como medidas finales del poste las siguientes: diámetro máximo de 84 mm y diámetro mínimo de 38 mm, siendo su altura 4,5 m.

3.- MODELADO Y DISCRETIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA:

Para el diseño de los postes de tráfico tanto de acero como de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) hemos utilizado el programa informático de ingeniería MSC PATRAN, que proporciona una interfaz gráfica para el pre- y el post-procesado de modelos de elementos finitos y sus resultados. Patran es uno de los software más utilizados para el cálculo mediante elementos finitos y permite el modelado mediante elementos lámina, elementos viga y elementos sólidos; además permite modificar y adaptar la malla, introducir los parámetros del análisis y realizar el postprocesado con múltiples códigos de elementos finitos como: MSC Nastran, Marc, Abaqus, LS-DYNA, ANSYS, y Pam-Crash.

Además MSC PATRAN posee un extenso conjunto de herramientas que simplifican la creación de modelos de análisis lineales, no lineales, dinámicos, explícitos, térmicos y otras soluciones de elementos finitos.

También posee herramientas de limpieza de la geometría. Las mallas se pueden crear fácilmente a partir de las superficies y sólidos tanto con malla totalmente automáticas como mediante métodos manuales que proporcionan un mayor control y precisión, o mediante la combinación de ambos.

Por último, las cargas, las condiciones de contorno, los casos de carga y la configuración de análisis pueden configurarse mediante un interfaz sencillo e intuitivo. Además los resultados de Patran y sus capacidades han sido probadas asegurar que los prototipos virtuales proporcionan resultados rápidos para que pueda evaluar el rendimiento del producto frente a los requisitos y optimizar sus diseños y que con un alto grado de correlación con la realidad.

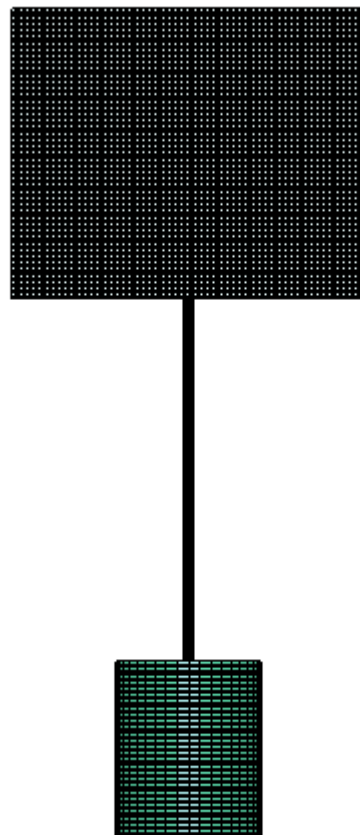


Figura 8: Vista del poste de tráfico

A continuación se pueden observar diferentes fotografías de cada uno de los elementos, realizados mediante MSC PATRAN, que componen el poste de tráfico.

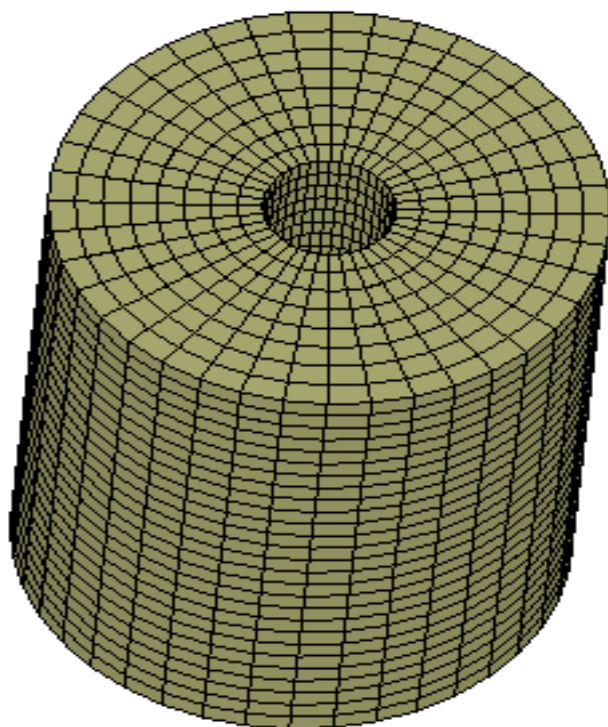


Figura 9: Vista de la arena

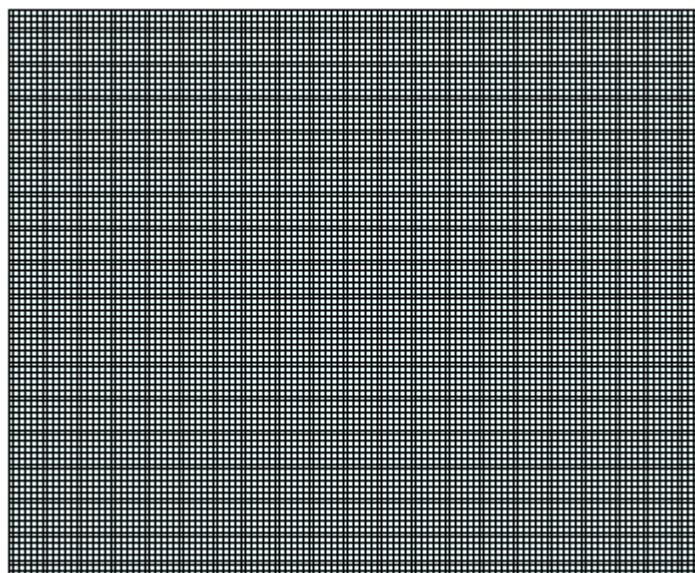


Figura 10: Vista del cartel

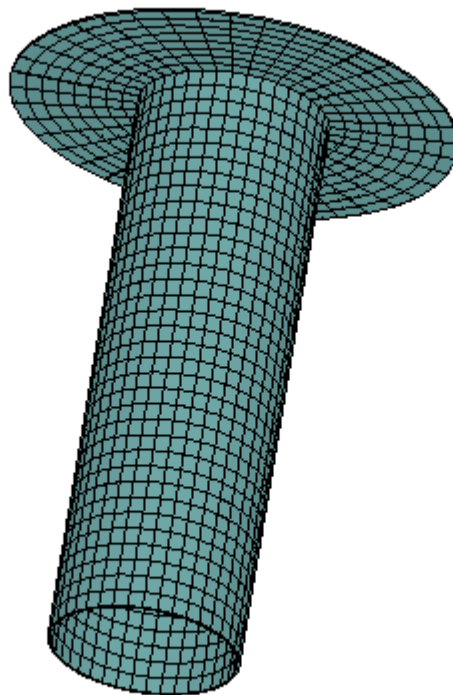


Figura 11: Vista de la goma

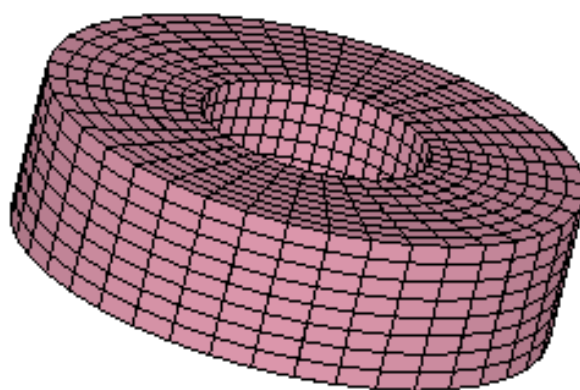


Figura 12: Vista del hormigón



Figura 13: Vista del mástil

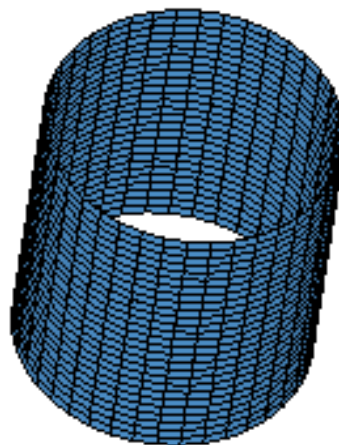


Figura 14: Vista del PVC

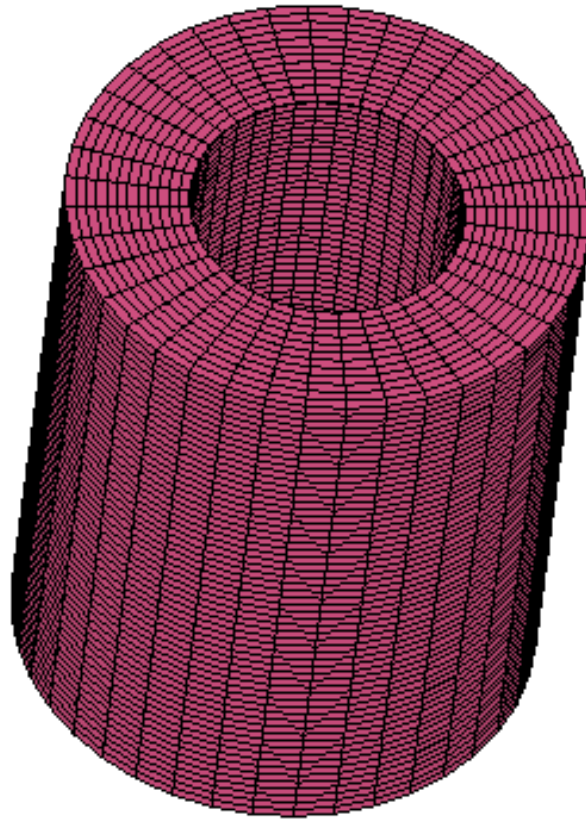


Figura 14: Vista de la tierra

La discretización de la estructura se ha realizado mediante una combinación de elementos lamina (shell) para aquellas zonas en las que una de sus dimensiones era mucho menor que las otras dos (PVC, cartel y mástil) al que se le ha impuesto un espesor y mediante elementos volumétricos para el resto (tierra, hormigón, goma) y se han unido todas las partes del conjunto mediante equivalencia de nodos comunes lo que permite transmitir los esfuerzos que aparecen entre los diversos elementos.

4.- CONDICIONES DE CONTORNO

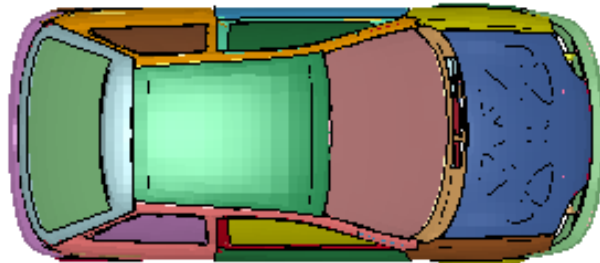


Figura 15: Vista superior Geo Metro

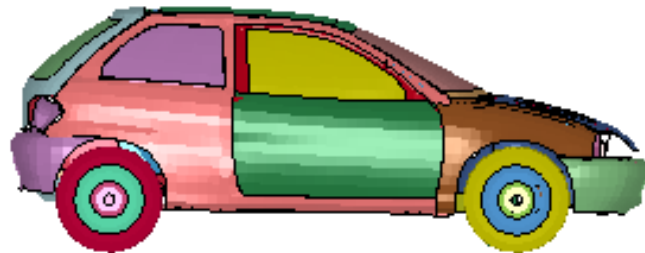


Figura 16: Vista lateral Geo Metro

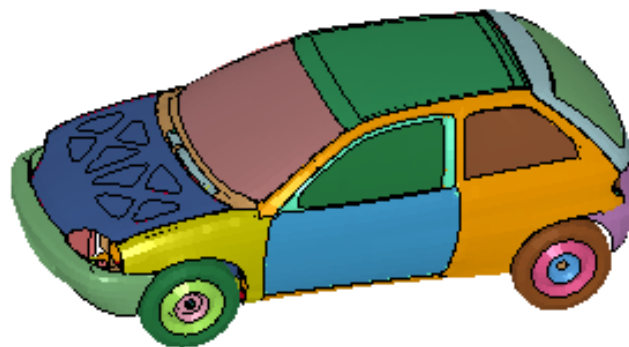


Figura 17: Vista lateral Geo Metro

En la realización del proyecto hemos utilizado un modelo de coche, Geo Metro, obtenido de la pagina web <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>, para hacer la simulación numérica de impacto contra un poste de tráfico. El modelo de coche elegido es el Geo Metro, Reduced model (16.100 elements).



Geo Metro, Reduced model (16,100 elements)

Date posted: 2000 Oct 21

(Unix tar/GNU compressed archive) (Zip format)

Figura 18: Imagen Geo Metro utilizado en el proyecto

El **Geo Metro**, vehículo de dos o cuatro puertas, equipado con un motor de 1 litro y 3 cilindros que produce 55 caballos y conectado a una transmisión manual de 5 velocidades era una variación de la comercialización y fabricación de la Suzuki Cultus disponible en Norteamérica desde 1989 hasta 2001 como un esfuerzo conjunto de GM y Suzuki. Tiene un consumo de gasolina en tráfico urbano de unos 17 km por litro, mientras que en carretera supera los 20 km por litro. La economía de combustible es casi comparable a la de los modernos híbridos de hoy en día.



Figura 19: Imagen Geo Metro real

Los datos y dimensiones del vehículo que se deben indicar de acuerdo con la norma UNE-EN 12767 (Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento en carretera. Requisitos y métodos de ensayo) son:

- 1 -Anchura (medida en la anchura máxima d la carrocería, sin tener en cuenta los retrovisores): 1572mm.
- 2 -Vía (distancia entre ruedas): anchura de vía en los ejes delantero y trasero (medidos en el eje de las ruedas):1364mm.
- 3 -Longitud (excluido el gancho para remolques): 3705mm.
- 4 -Altura: 1365mm.
- 5 -Voladizo delantero: 680mm.
- 6 -Batalla (distancia entre ejes): 2420mm.
- 7 -Voladizo trasero (excluido el gancho para remolques): 605mm.

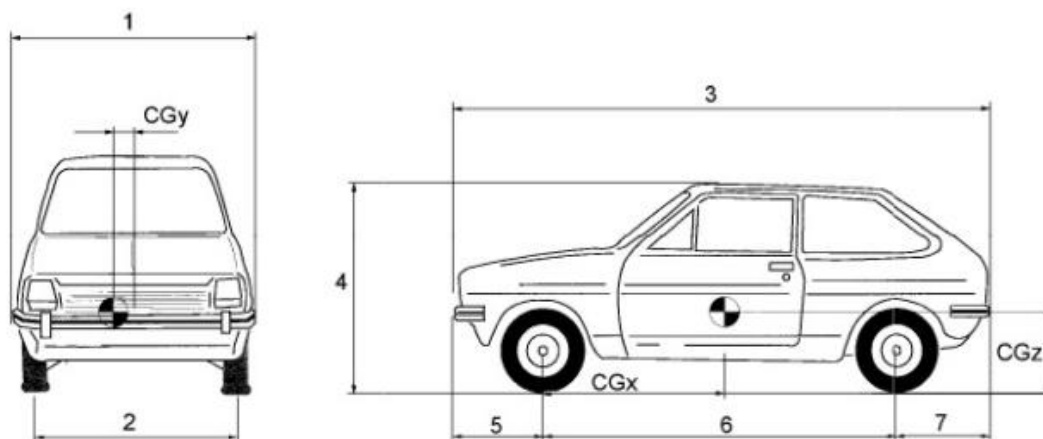


Figura 20: Imagen dimensiones del Geo Metro

Los casos de carga a simular son los especificados en la norma UNE-EN 12767:2007 en la que se especifican dos casos de carga: lanzamiento de vehículo a una velocidad de 35 km/h y otro a la velocidad de clase, por lo que se coloca el vehículo a escasa distancia del poste y con la velocidad inicial del ensayo y un ángulo

de impacto de 0° , tanto en el vehículo como la equivalente de rotación respecto a su centro de rotación en las ruedas. Además se ha impuesto en todos los casos un empotramiento en la zona exterior de modelo de tierra y se ha impuesto una condición de autocontacto (AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE) que impone un contacto entre todos los elementos que estén en contacto con un rozamiento de 0.3.

Además se ha incluido en el modelo para simular el asfalto un elemento rígido infinito de tipo Rigid_wall para el contacto de las ruedas con el suelo y la simulación de éste.

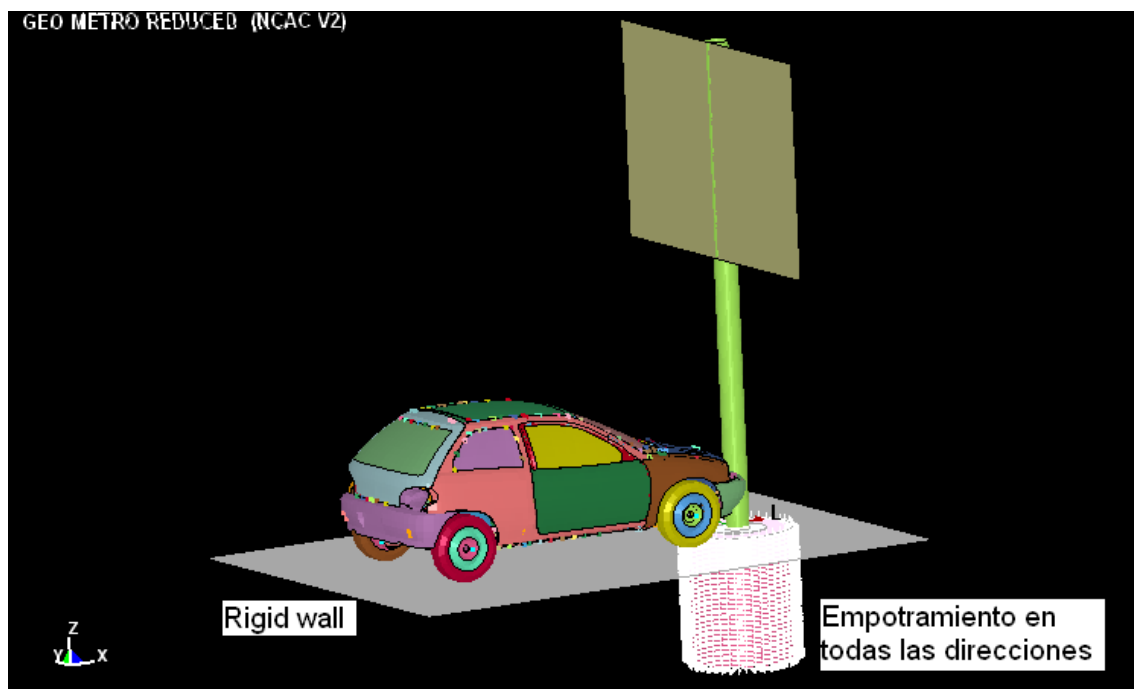


Figura 21: Imagen completa del ensayo con el Geo Metro

5.- TIPOS DE MATERIALES

***Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio:**

El **Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.)** es un material compuesto, constituido por una estructura resistente de fibra de vidrio y un material plástico que actúa como aglomerante de las mismas. El refuerzo de fibra de vidrio, provee al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química dieléctrica y comportamiento a la intemperie.

5.1- FIBRAS DE VIDRIO:

Cuando el vidrio se convierte en finas fibras, su tensión de rotura a la tracción, aumenta considerablemente.

Para la fabricación de fibra de uso en plástico reforzado, se emplea el vidrio tipo "E", el cual es un vidrio borosilícico, con escaso contenido de álcalis, (menor a 1%).

Se fabrican diferentes tipos de refuerzo de fibra de vidrio, según las necesidades, en cuanto al diseño y al proceso de transformación a emplear.

RESINAS

Las más comúnmente empleadas son las poliéster. Las mismas resultan de combinar ácido polibásico (saturados o insaturados) con glicoles. De los distintos compuestos usados y de las diferentes proporciones entre ellas, surgen diversos tipos de resinas. En esta primera etapa, son sólidas y para conferirle sus propiedades de polimerización, se deben disolver en un monómetro (generalmente estireno), obteniéndose un líquido espeso.

Las resinas pasan del estado líquido al sólido, por copolimerización del poliéster, con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en combinación con otro producto químico (acelerador) o aporte de calor.

Las resinas más comúnmente utilizadas son tres:

- resinas poliéster ortoftálica
- resinas poliéster isoftálica
- resinas poliéster bisfenolica.

CARACTERISTICAS

Físicas: Los plásticos reforzados son un material flexible pero a su vez, muy resistente mecánicamente. Sometido a un esfuerzo de tracción, se deforma proporcionalmente, o sea, que cumple con la Ley de Hooke, con la particularidad de que la rotura se produce sin presentar fluencia previa. Su peso específico (1.8 Kg/dm^3) es mucho menor que el de los materiales tradicionales, lo que hace que el PRFV posea una alta resistencia específica.

Hidráulicas: Los tanques accesorios y muy principalmente los caños en PRFV llevan como acabado superficial interno con terminación espejo y sección perfectamente circular, debido a que estos se moldean sobre matrices de una sola pieza. Debido a sus propiedades anticorrosivas y que no son atacados por ningún microorganismo, y que es difícil la adhesión de incrustaciones en su superficie, los caños no aumentan su rugosidad y la sección interna no disminuye, aún en largos períodos de tiempo. Con lo antedicho se logra una gran economía en la elección del área de flujo, con respecto a los materiales tradicionales, lo que adquiere gran importancia en caños de grandes diámetros.

La rugosidad absoluta, se puede estimar en 30 un.

Químicas: El PRFV es inerte a una gran cantidad de compuestos. La inercia química, está influenciada por la temperatura, el tipo de resina usada y la concentración del producto agresivo. La elección de la resina correcta, surgirá de un estudio de las condiciones y tipo de fluido y de las tablas de resistencia química que proveen los fabricantes.

El PRFV resiste perfectamente la corrosión de los suelos más agresivos y al ser un material dieléctrico está excluido de los casos de corrosión electroquímica.

***Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:**

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
Propiedad	Valor
Modulo elástico longitudinal	25500Mpa
Modulo elástico transversal	8700Mpa
Modulo elástico normal	6000Mpa
Coef. de Poisson dirección 1-2	0.1
Coef. de Poisson dirección 1-3	0.3
Coef. de Poisson dirección 2-3	0.3
Modulo transversal 1-2 GAB	6250Mpa
Modulo transversal 2-3 GBC	2400Mpa
Modulo transversal 1-3 GCA	2400Mpa
Angulo de enrollamiento	0°
Deformación longitudinal a compresión (XC)	110Mpa
Deformación longitudinal a tracción (XT)	110Mpa
Deformación transversal a compresión (YC)	50Mpa
Deformación transversal a tracción (YT)	25Mpa
Deformación a cizalla (SC)	19Mpa
Densidad	$1.7 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$

Tabla 2: Propiedades mecánicas del PRFV

*** Criterio de error Tsai-Wu:**

Este criterio que se aplica a los materiales compuestos tiene en cuenta la energía de deformación total (la energía de distorsión y la energía de dilatación) para predecir errores. Es más general que el criterio de error Tsai-Hill porque distingue entre las fuerzas de error de compresión y tracción. Para un estado 2D de tensión del plano ($s_3 = 0, t_{13} = 0, t_{23} = 0$) que se considera para los vacíos compuestos, el índice de error se calcula como:

$$F.I. = (F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2) + (F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{66}\tau_{12}^2)$$

El programa informa que el factor de seguridad (FOS) es $1 / (F.I.)$.
El FOS debe ser mayor que 1 para que los laminados sean seguros.

Donde,

$$F_1 = \frac{1}{X_1^T} - \frac{1}{X_1^C}, F_2 = \frac{1}{X_2^T} - \frac{1}{X_2^C}$$

$$F_{11} = \frac{1}{X_1^T X_1^C}, F_{22} = \frac{1}{X_2^T X_2^C}, F_{66} = \frac{1}{(S_{12})^2}, F_{12} = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{X_1^T X_1^C X_2^T X_2^C}}$$

X_1 es el límite de tracción en la dirección del material 1

X_2 es el límite de tracción en la dirección del material 2

S_{12} es el límite cortante

Los superíndices T y C denotan límites de tracción y de compresión respectivamente.

- Limitación:

El criterio de error Tsai-Wu no puede predecir distintos modos de error, incluido el error de fibra, el error de matriz y el error de conexión fibra-matriz.

5.2- Arena:

La arena es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros. Una partícula individual dentro de este rango es llamada «grano de arena». Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca. Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo, y por arriba de la medida del grano de arena y hasta los 64 mm se denominan grava.

CARACTERISTICAS Y COMPONENTES

El componente más común de la arena, es el sílice, generalmente en forma de cuarzo. Sin embargo, la composición varía de acuerdo a los recursos y condiciones locales de la roca. En algunos lugares hay arena que contiene hierro, feldespato o, incluso, yeso.

Según el tipo de roca de la que procede, la arena puede variar mucho en apariencia. Por ejemplo, la arena volcánica es de color negro mientras que la arena de las playas con arrecifes de coral suele ser blanca.

La arena es transportada por el viento, también llamada arena eólica, (pudiendo provocar el fenómeno conocido como calima) y el agua, y depositada en forma de playas, dunas, médanos, etc. En el desierto, la arena es el tipo de suelo más abundante. La granulometría de la arena eólica está muy concentrada en torno a 0,2 mm de diámetro de sus partículas.

La arena se utiliza para fabricar cristal por sus propiedades tales como extraordinaria dureza, perfección del cristal o alto punto de fusión, y, junto con la grava y el cemento, es uno de los componentes básicos del hormigón.

5.3- Hormigón:

El **hormigón** es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que usa betún para realizar la mezcla.

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de hormigón armado.

Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, impermeabilizantes, fibras, etc.

Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. **Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación.**

***Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:**

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

Hormigón	
Propiedad	Valor
Modulo elástico	27000Mpa
Densidad	$2.2 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
Coeficiente de Poisson	0.2

Tabla 3: Propiedades mecánicas del hormigón

5.4- PVC:

El **(poli cloruro de vinilo)** o **PVC** es un polímero termoplástico.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroeteno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

El átomo de cloro enlazado a cada átomo de carbono le confiere características amorfas principalmente e impiden su recristalización, la alta cohesión entre moléculas y cadenas poliméricas del PVC se deben principalmente a los momentos dipolares fuertes originados por los átomos de cloro, los cuales a su vez dan cierto impedimento estérico es decir que repelen moléculas con igual carga, creando repulsiones electrostáticas que reducen la flexibilidad de las cadenas poliméricas, esta dificultad en la conformación estructural hace necesario la incorporación de aditivos para ser obtenido un producto final deseado.

En la industria existen dos tipos:

- Rígido: para envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente).
- Flexible: cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados...

El PVC se caracteriza por ser dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental. Además, es reciclable por varios métodos.

***Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:**

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

PVC	
Propiedad	Valor
Modulo elástico	3500Mpa
Densidad	$1.4 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
Coeficiente de Poisson	0.38

Tabla 4: Propiedades mecánicas del PVC

5.5- Acero:

Acero es la denominación que comúnmente se le da en ingeniería metalúrgica a una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,1 y el 2,1% en peso de su composición. Si la aleación posee una concentración de carbono mayor al 2,0% se producen fundiciones que, en oposición al acero, son quebradizas y no es posible forjarlas sino que deben ser moldeadas.

No se debe confundir el acero con el hierro, que es un metal relativamente duro y tenaz. Por su parte, el carbono es un no metal blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante).

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas.

Existen muchos tipos de acero en función del o los elementos aleantes que estén presentes. La definición en porcentaje de carbono corresponde a los aceros al carbono, en los cuales este no metal es el único aleante, o hay otros pero en menores

concentraciones. Otras composiciones específicas reciben denominaciones particulares en función de múltiples variables como por ejemplo los elementos que predominan en su composición (aceros al silicio), de su susceptibilidad a ciertos tratamientos (aceros de cementación), de alguna característica potenciada (aceros inoxidables) e incluso en función de su uso (aceros estructurales). Usualmente estas aleaciones de hierro se engloban bajo la denominación genérica de **aceros especiales**, razón por la que aquí se ha adoptado la definición de los comunes o "al carbono" que además de ser los primeros fabricados y los más empleados, sirvieron de base para los demás. Esta gran variedad de aceros llevó a Siemens a definir el acero como «un compuesto de hierro y otra sustancia que incrementa su resistencia».

Los dos componentes principales del acero se encuentran en abundancia en la naturaleza, lo que favorece su producción a gran escala. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas.

CARACTERISTICAS

- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal, el hierro es de alrededor de 1.510°C en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1.375°C , y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de carbono y de otros aleantes. Por otra parte el acero rápido funde a 1.650°C .
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000°C .
- Es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil. Con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.

- Es maleable. Se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- Algunas composiciones y formas del acero mantienen mayor memoria, y se deforman al sobrepasar su límite elástico.
- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo.
- Posee una alta conductividad eléctrica.

***Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:**

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

Acero	
Propiedad	Valor
Modulo elástico	210000Mpa
Limite elástico	225Mpa
Limite de rotura	385Mpa
Deformación en rotura	0.24
Densidad	$7.850 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
Coeficiente de Poisson	0.3

Tabla 5: Propiedades mecánicas del Acero

5.6- Goma:

La **goma** es una sustancia resinosa con un alto peso molecular, estructuralmente muy compleja, siempre con carácter ácido. Es sólida, aunque su consistencia varía según su procedencia y las condiciones a las que se somete. Tiene la peculiaridad de ser un material muy elástico. Repele la electricidad, lo que la convierte en un buen aislante.

*Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

Goma	
Propiedad	Valor
Modulo elástico	7Mpa
Densidad	$1.15 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
Coeficiente de Poisson	0.5

Tabla 6: Propiedades mecánicas de la goma

5.7- Tierra:

Otro de los factores que han sido incluidos en la simulación es el modelo de suelo en las zonas comunes del puesto en el suelo. Este factor se ha tomado en consideración, debido a la flexibilidad de la tierra que permite pequeños desplazamientos que pueden alterar los resultados obtenidos. Así que la tierra se ha modelado con un tipo de material "Soil_and_Foam", como se especifica por algunos autores y con las propiedades que los autores antes mencionados establecen, y un contacto se impuso entre el suelo y el poste.

*Propiedades utilizadas en la realización del proyecto:

A continuación se muestra una tabla con las propiedades utilizadas de este material:

Tierra	
Propiedad	Valor
Densidad (RO)	1.7000E-9 Kg/mm ³
Modulo de corte (G)	49.500000 Mpa
Modulo de compresibilidad (K)	185.00000 Mpa
Constante (A0)	0.012013 Mpa
Constante (A1)	0.000 Mpa
Constante (A2)	0.000 Mpa
Presión de corte (PC)	-0.172390 Mpa

Tabla 7: Propiedades mecánicas de la tierra

6.- ANALISIS DE RESULTADOS

En este apartado explicaremos los parámetros utilizados en el análisis de los resultados obtenidos en nuestros ensayos mediante los programas informáticos de ingeniería.

6.1.- ASI (Aceleration Severity Index):

El Índice de Severidad de Aceleración (ASI) se utiliza para evaluar el potencial de riesgo de los ocupantes en las pruebas de choque a gran escala relacionados con el hardware de seguridad en carretera. La escala de seguridad pasiva contempla un rango de entre 1.4 (el nivel más bajo de seguridad pasiva) y 0.6 (el nivel más alto). A pesar de su uso generalizado en toda Europa, hay una falta de investigación sobre esta medida a las lesiones de los ocupantes en colisiones reales. Utilizando la información mide la aceleración del vehículo, el ASI se calcula utilizando la siguiente relación:

$$ASI(t) = \max \sqrt{\left(\frac{\overline{a_x}}{12}\right)^2 + \left(\frac{\overline{a_y}}{9}\right)^2 + \left(\frac{\overline{a_z}}{10}\right)^2} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\overline{a_{x,y,z}} = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_{x,y,z} dt \quad (\text{eq. 2})$$

6.2.- THIV (Theoretical Head Impact Velocity):

El parámetro THIV mide la velocidad a la cual la cabeza de los ocupantes del vehículo golpearía contra las paredes interiores del vehículo. En este caso el rango de medición oscila entre 44km/h (el nivel más bajo de seguridad pasiva) y 11km/h (el nivel más alto).

Tal y como marca la norma en la realización de estos ensayos es necesario utilizar el parámetro ASI (Aceleration Severity Index) y el parámetro THIV (Theoretical Head Impact Velocity) para analizar los resultados, pero en este proyecto se ha utilizado solo el parámetro ASI (Aceleration Severity Index) ya que el parámetro THIV (Theoretical Head Impact Velocity) es prácticamente despreciable debido a que el impacto es frontal.

7.- RESULTADOS

Una vez realizados los ensayos del poste de Acero y del de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.) mediante los programas informáticos de ingeniería MSC PATRAN y LS-DYNA, se mostrarán los resultados obtenidos mediante el programa informático de ingeniería DIADEM.

7.1.- RESULTADOS POSTE DE PRFV:

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales de la empresa Jerol en los diferentes ensayos a velocidades de 35km/h, 71Km/h y 102Km/h son los siguientes.

Nº ensayo	Fecha ensayo	Tipo columna	h columna (m)	Diam. (mm)	Dimensiones Cartel	Peso elemento superior (Kg)	Vel. Impacto (Km/h)	Vel. Salida (Km/h)	ASI	THIV (Km/h)	Categoría absorción energía	Nivel Seguridad Pasiva
E0608	07/06/2006	Señalización vertical Monoposte	5,85	273	2100 X 3750h	58	35	0	0,9	26	HE	3
E0609	07/06/2006	Señalización vertical Monoposte	5,85	273	2100 X 3750h	58	102	85	0,9	14	NE	2
J0415	15/04/2009	Señalización vertical Monoposte	4,8	219	3000a X 2000h	63	71	0	0,9	38	HE	1

Tabla 8: Resultados de Jerol en los ensayos

*** Resultados obtenidos en el proyecto:**

- Ensayo poste de P.R.F.V a 35Km/h:

CHNUNSCALE (27/06/2012 9:44:58)

Input channels:
[1]/700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]/ChnUnScale (5)

CHNUNSCALE (27/06/2012 9:45:16)

Input channels:
[1]/700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]/ChnUnScale1 (7)

CHNUNSCALE (27/06/2012 9:45:29)

Input channels:
[1]/700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]/ChnUnScale2 (8)

CHNASICALC (27/06/2012 9:46:35)

Input channels:
[1]/time (1)
[1]/x (5)
[1]/y (7)
[1]/z (8)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 0.98

Result channels:
[1]/ASI (9)

The ASI calculation has been successfully completed!

Figura 22: Imagen resultados ASI

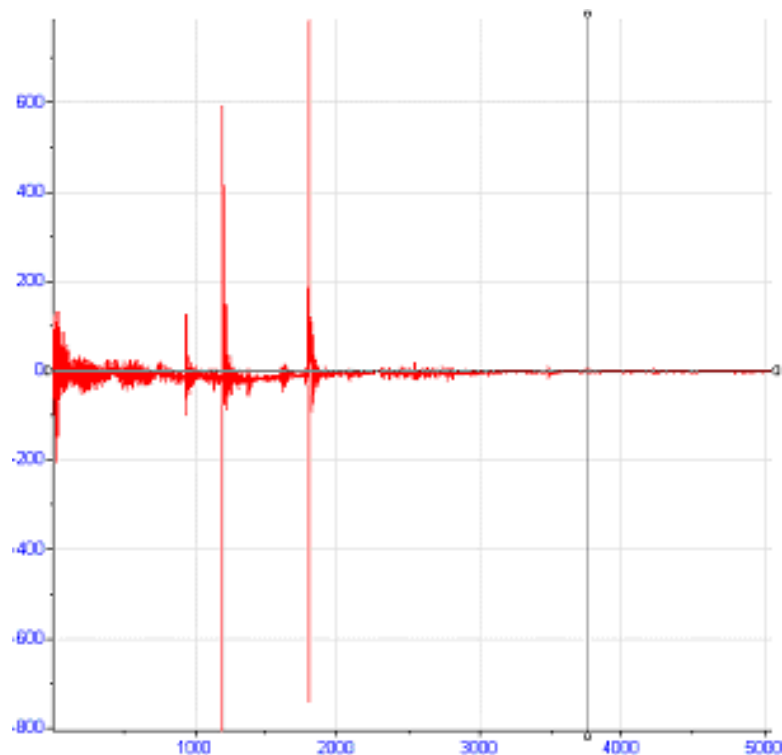


Figura 23: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

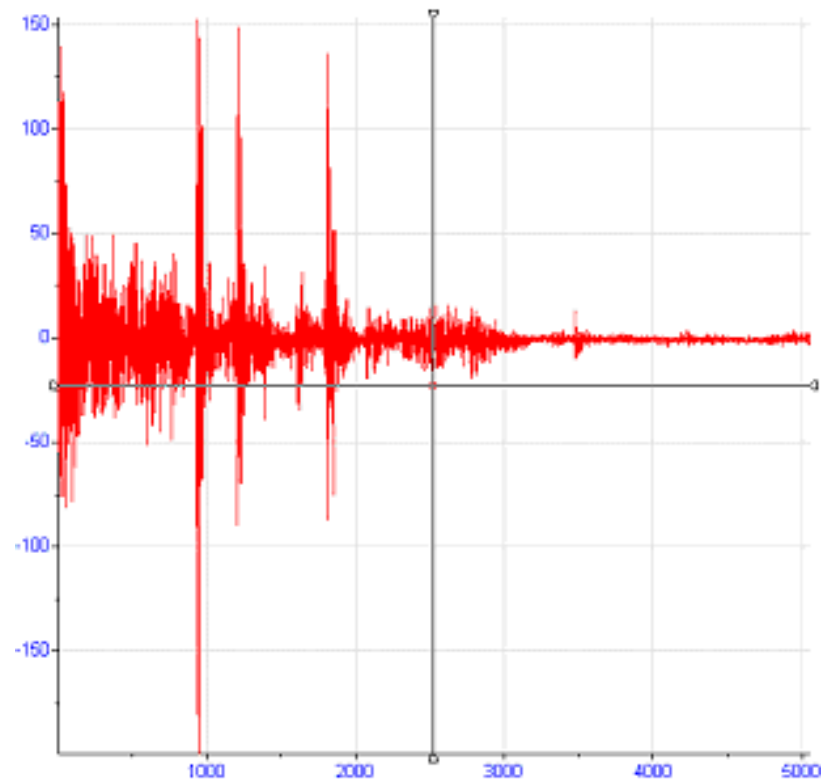


Figura 24: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

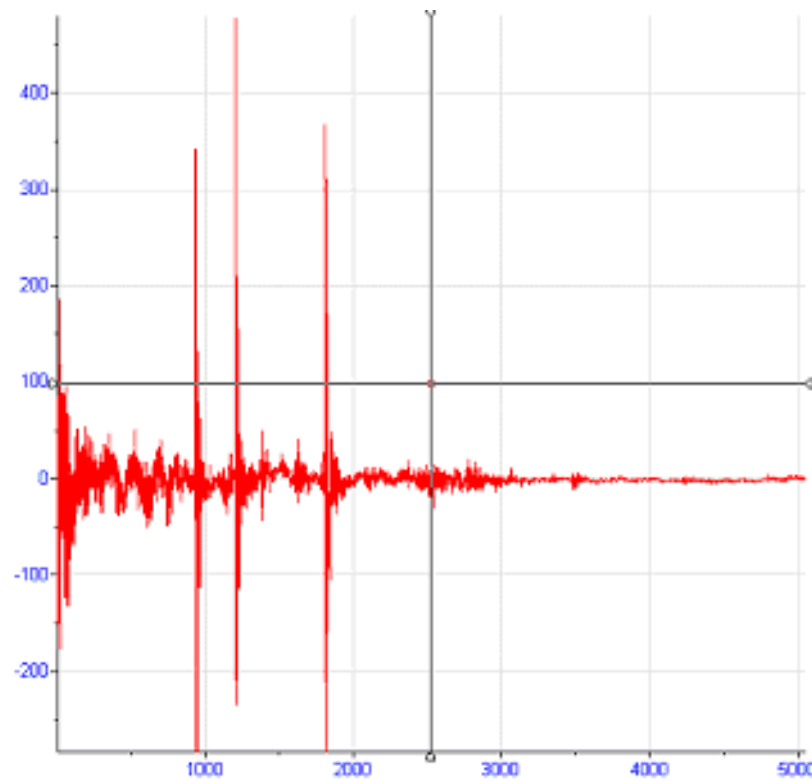


Figura 25: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

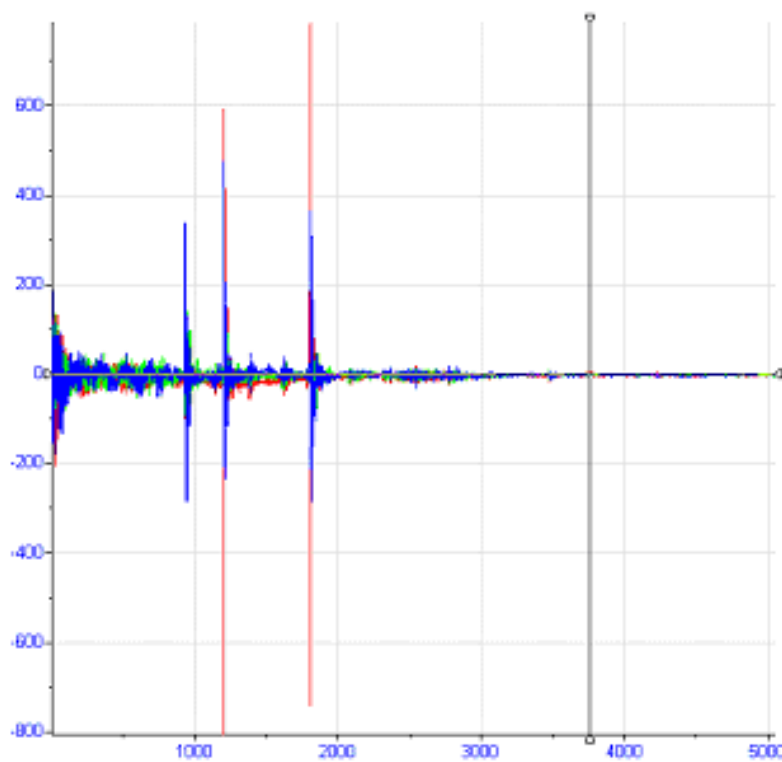


Figura 26: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s^2) vs tiempo (s)



Figura 27: Gráfica de los valores del ASI

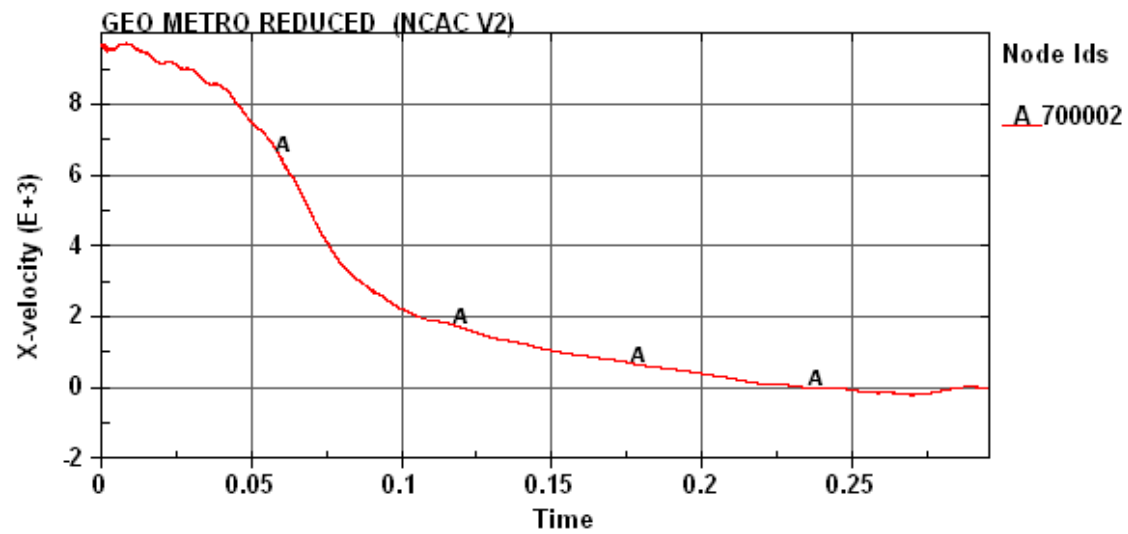


Figura 28: Gráfica de los valores de la velocidad

Videos comparativos del ensayo experimental y la simulación numérica del poste de tráfico mediante programas informáticos de ingeniería.



Figura 29: Imagen ensayo real (tiempo: 0.0 seg.)

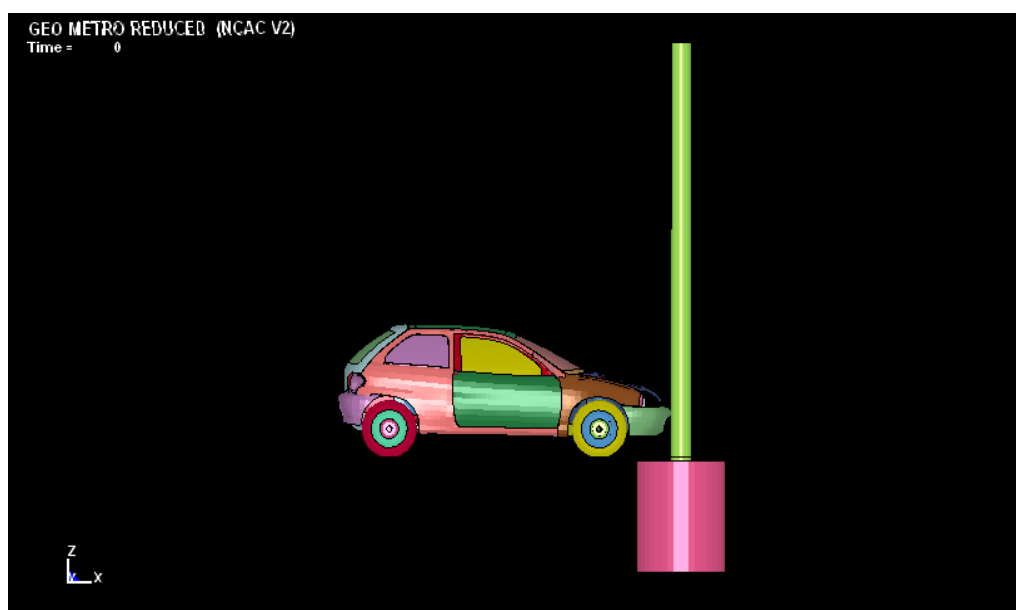


Figura 30: Imagen simulación (tiempo: 0.0 seg.)



Figura 31: Imagen ensayo real (tiempo: 0.036 seg.)

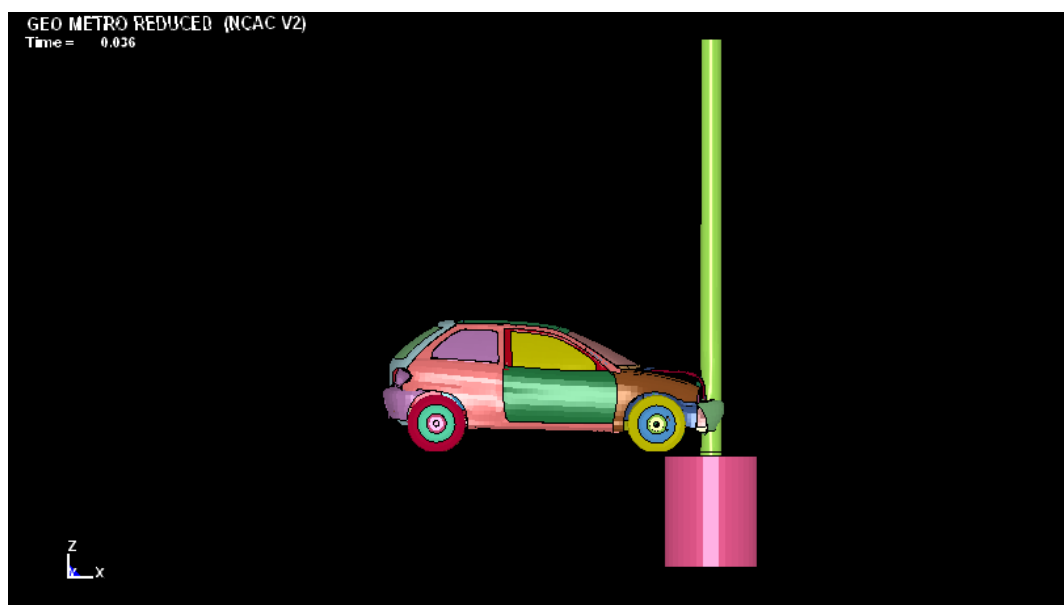


Figura 32: Imagen simulación (tiempo: 0.036 seg.)



Figura 33: Imagen ensayo real (tiempo: 0.222 seg.)

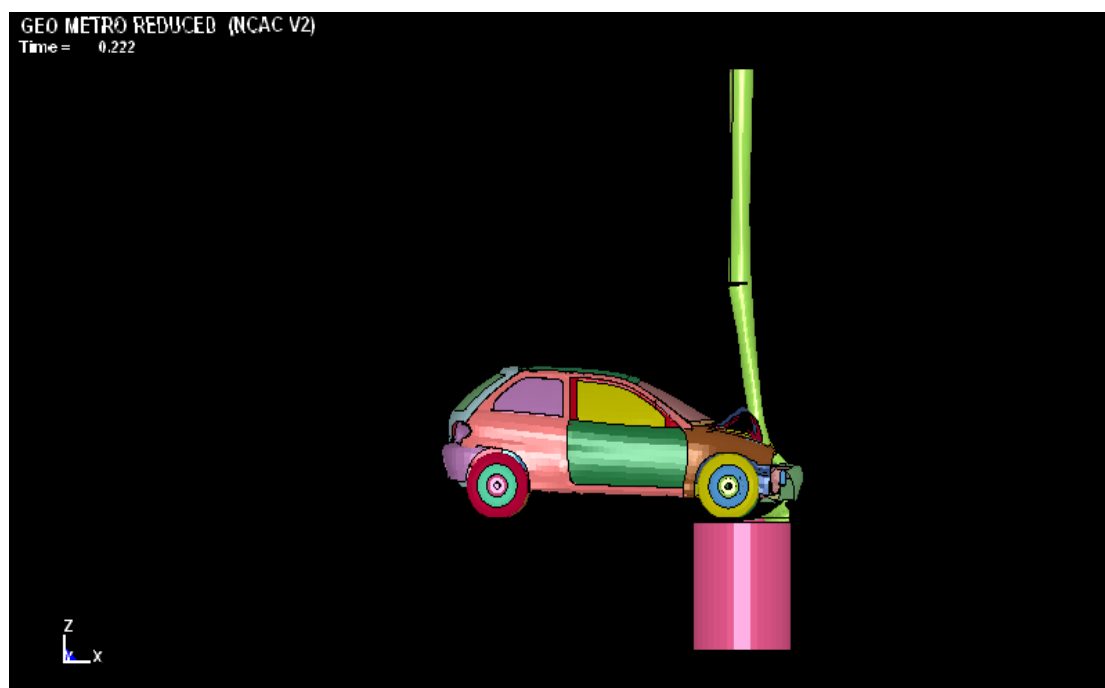


Figura 34: Imagen simulación (tiempo: 0.222 seg.)



Figura 35: Imagen ensayo real (tiempo: 0.294 seg.)

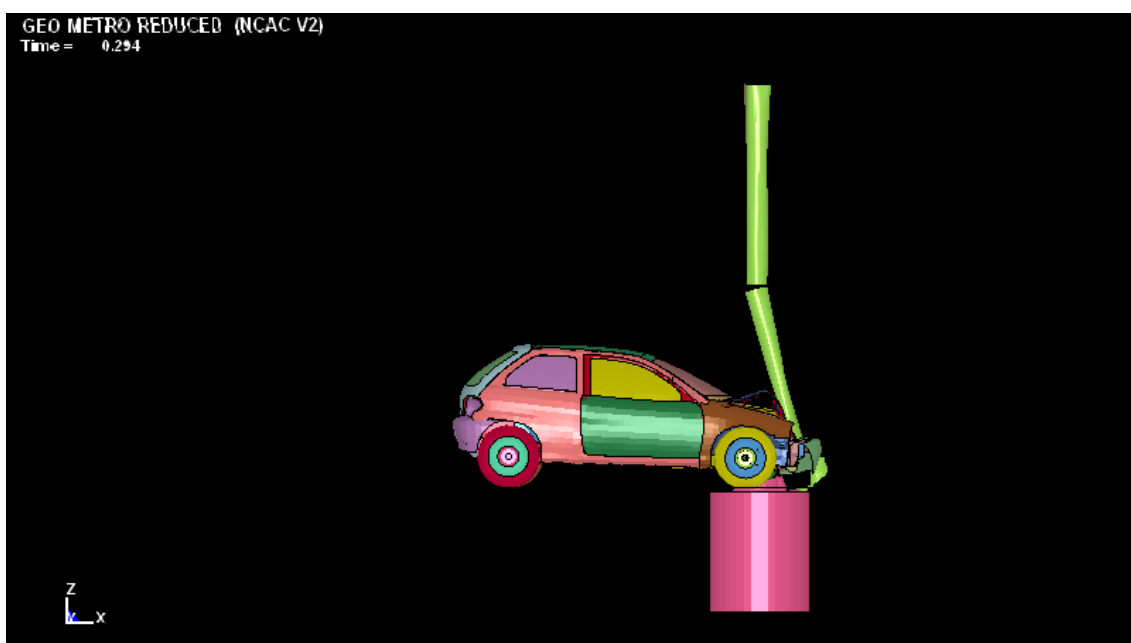


Figura 36: Imagen simulación (tiempo: 0.294 seg.)

- Ensayo poste de P.R.F.V a 71Km/h:

CHNLINSCALE (27/06/2012 10:24:16)

Input channels:
[1]/700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]/ChnUnScale (6)

CHNLINSCALE (27/06/2012 10:24:24)

Input channels:
[1]/700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]/ChnUnScale1 (7)

CHNLINSCALE (27/06/2012 10:24:32)

Input channels:
[1]/700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]/ChnUnScale2 (8)

CHNASTICALC (27/06/2012 10:25:33)

Input channels:
[1]/time (1)
[1]/ix (6)
[1]/iy (7)
[1]/iz (8)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 1.63

Result channels:
[1]/ASI (9)

The ASI calculation has been successfully completed!

Figura 37: Imagen resultados ASI

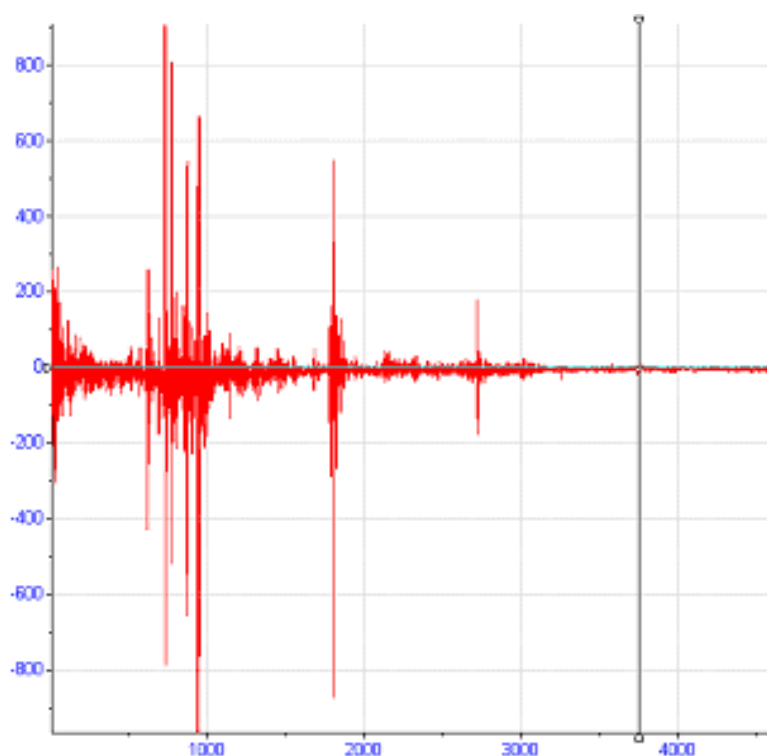


Figura 38: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

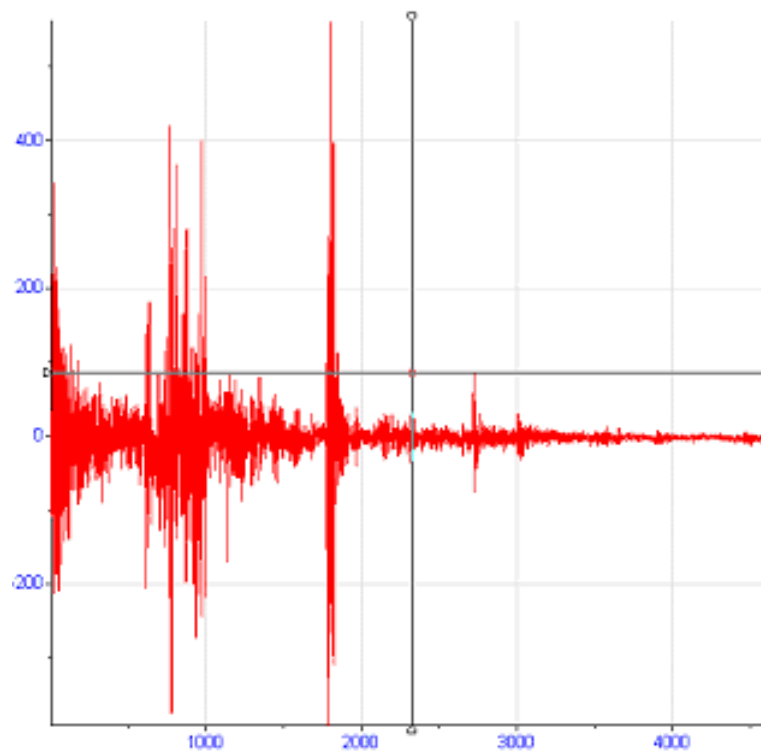


Figura 39: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

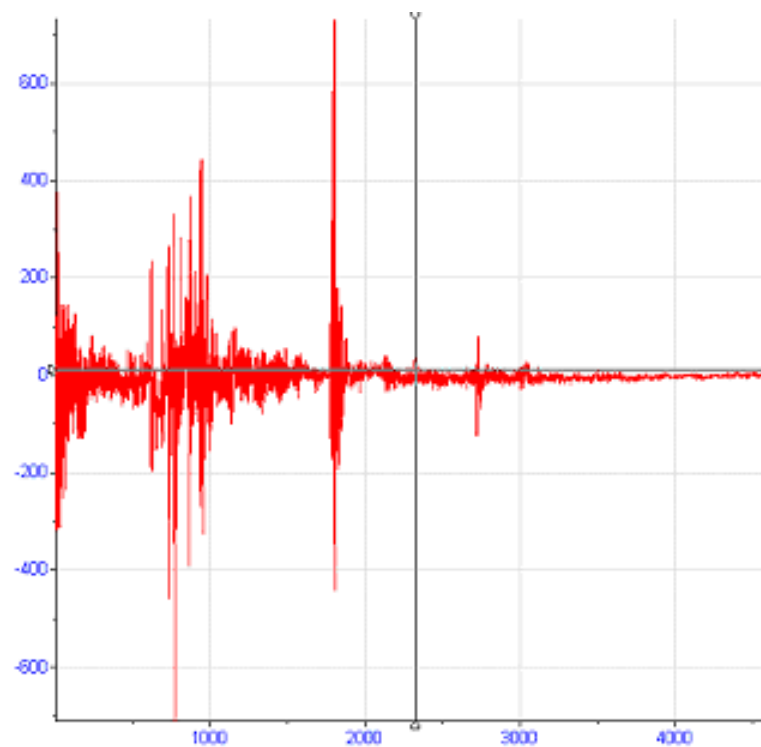


Figura 40: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

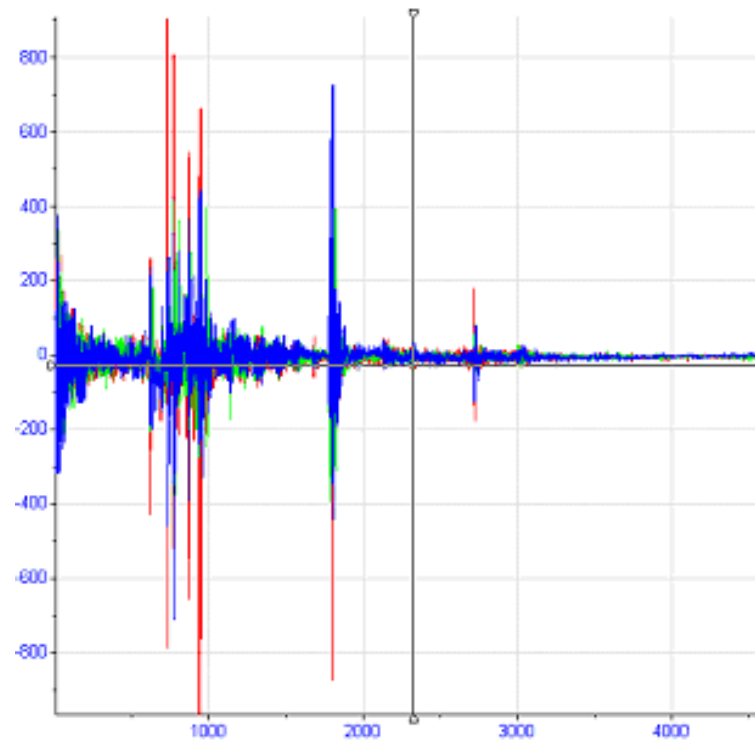


Figura 41: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s^2) vs tiempo (s)

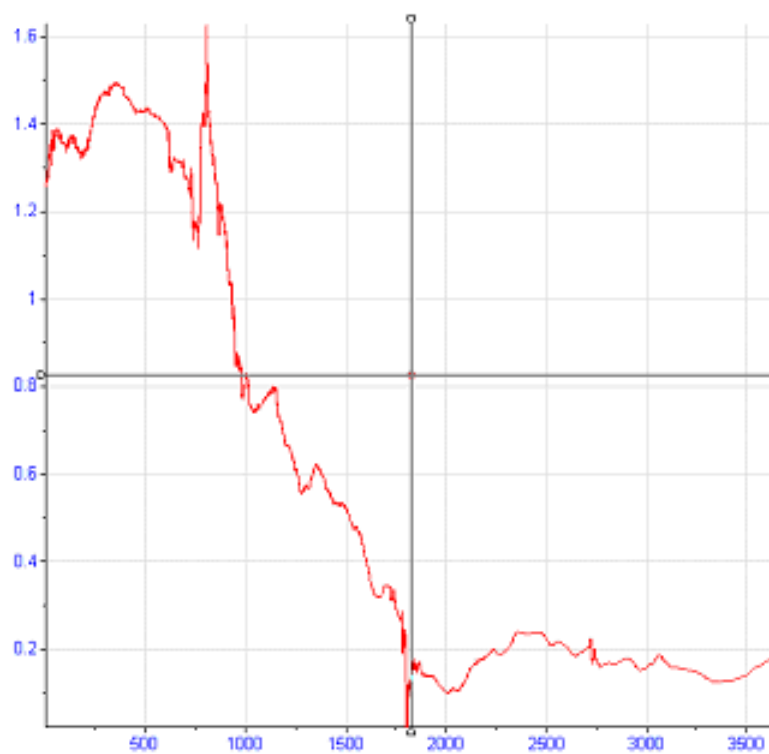


Figura 42: Gráfica de los valores del ASI

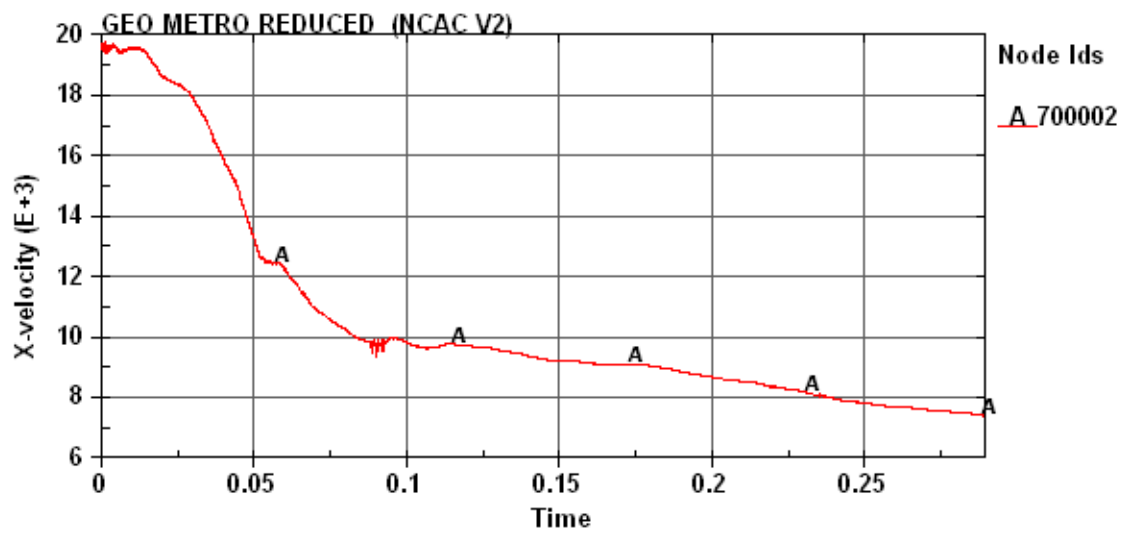


Figura 43: Gráfica de los valores de la velocidad

- Ensayo poste de P.R.F.V a 100Km/h:

CHNLINSCALE (13/08/2012 12:37:10)

Input channels:
[1]/700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]/ChnUnScale (6)

CHNLINSCALE (13/08/2012 12:37:15)

Input channels:
[1]/700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]/ChnUnScale1 (7)

CHNLINSCALE (13/08/2012 12:37:22)

Input channels:
[1]/700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]/ChnUnScale2 (8)

CHNASICAL.C (13/08/2012 12:37:48)

Input channels:
[1]/time (1)
[1]/x (6)
[1]/y (7)
[1]/z (8)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 1.77

Result channels:
[1]/ASI (9)

The ASI calculation has been successfully completed

Figura 44: Imagen resultados ASI

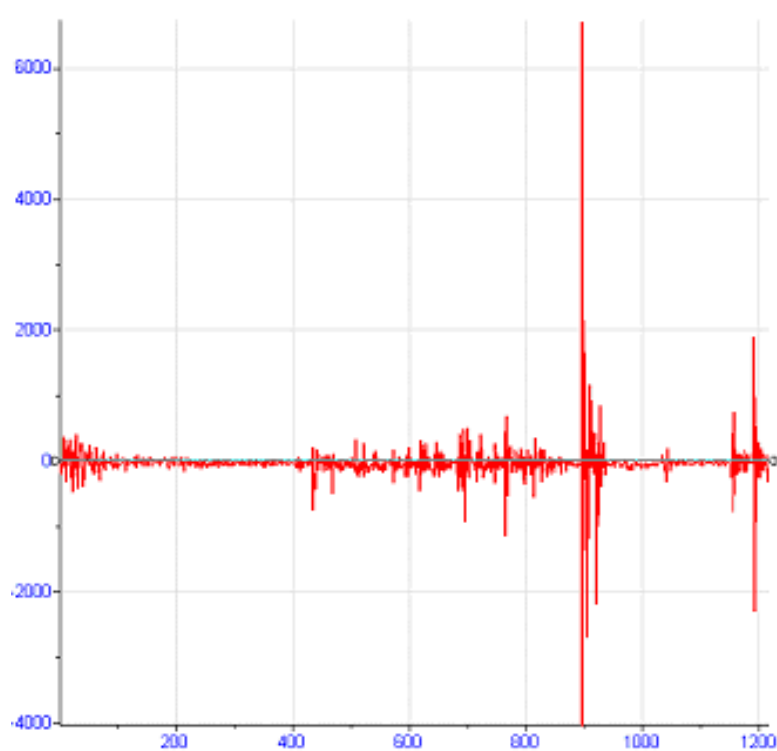


Figura 45: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

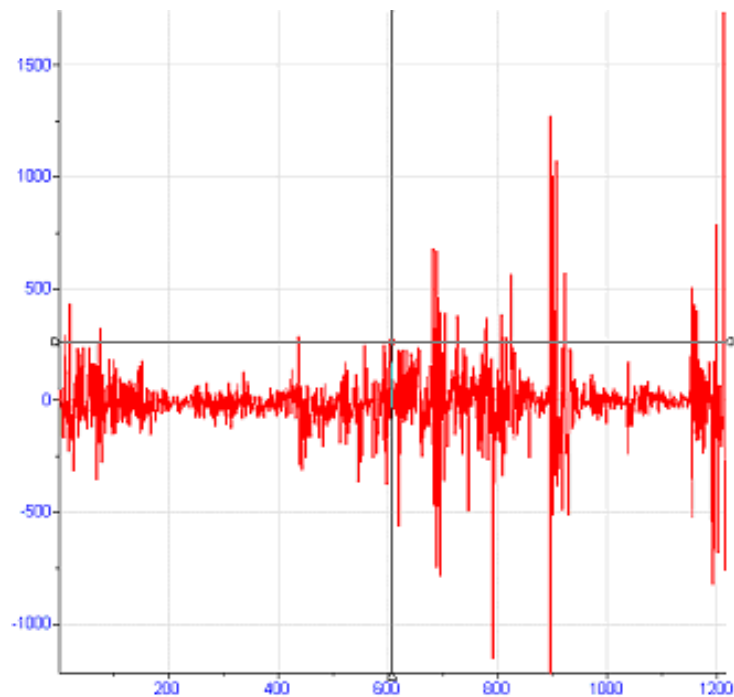


Figura 46: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

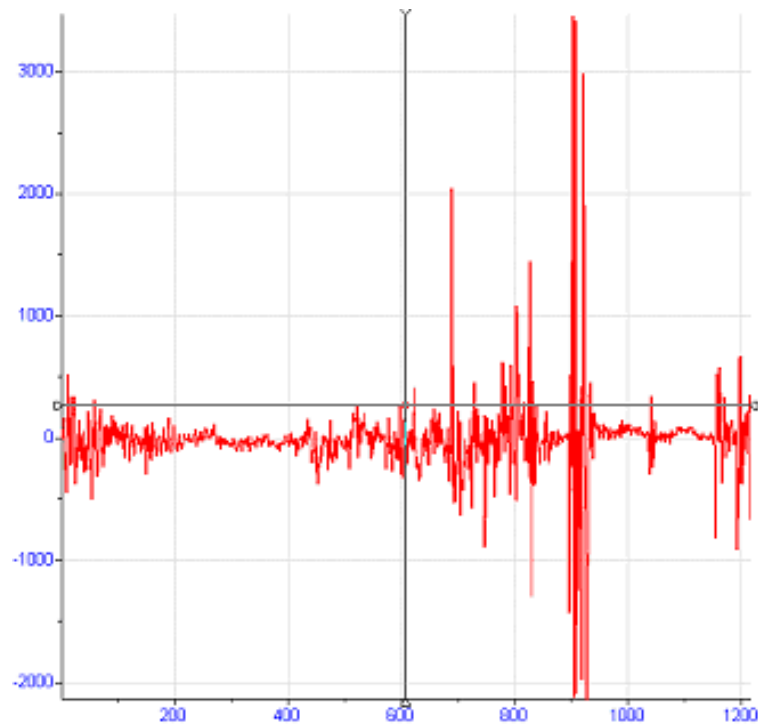


Figura 47: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

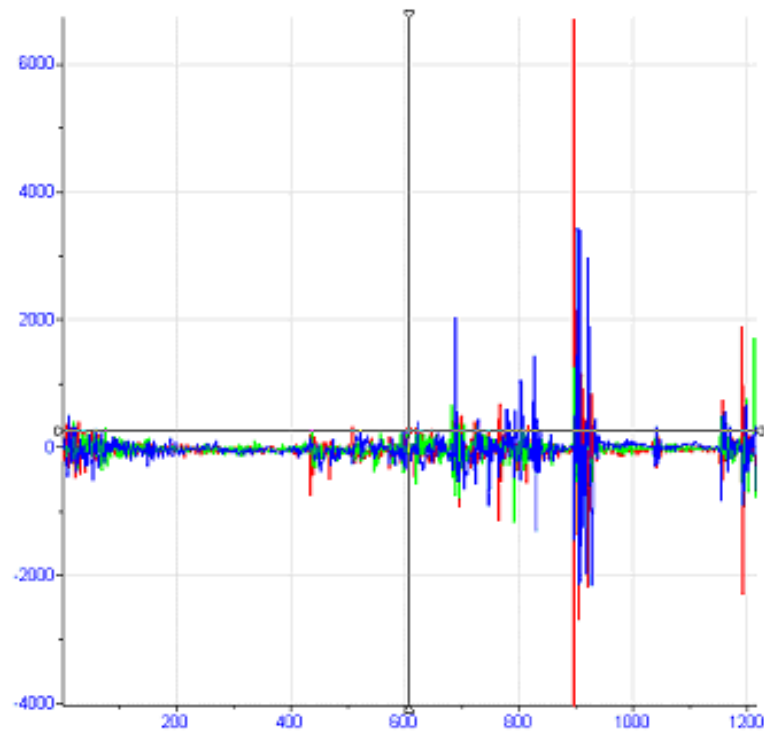


Figura 48: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s^2) vs tiempo (s)

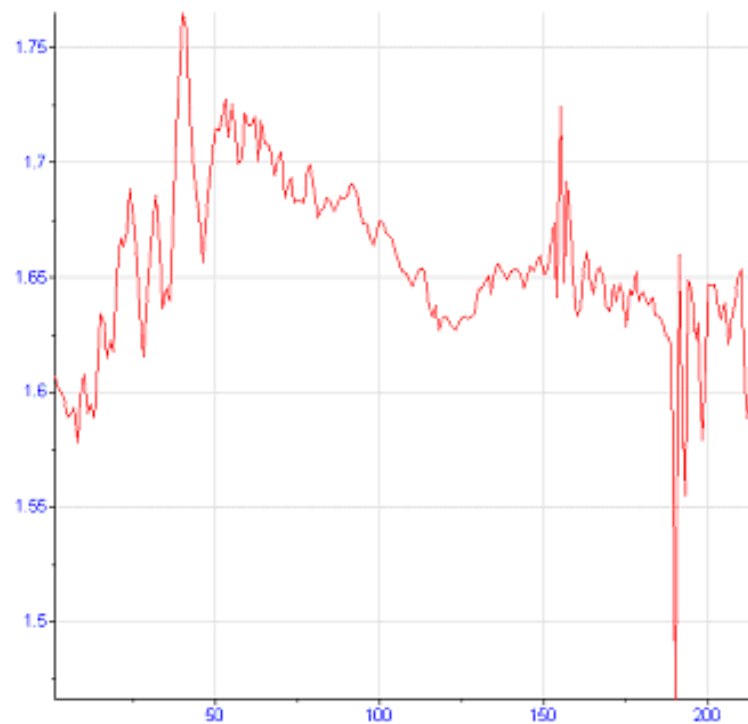


Figura 49: Gráfica de los valores del ASI

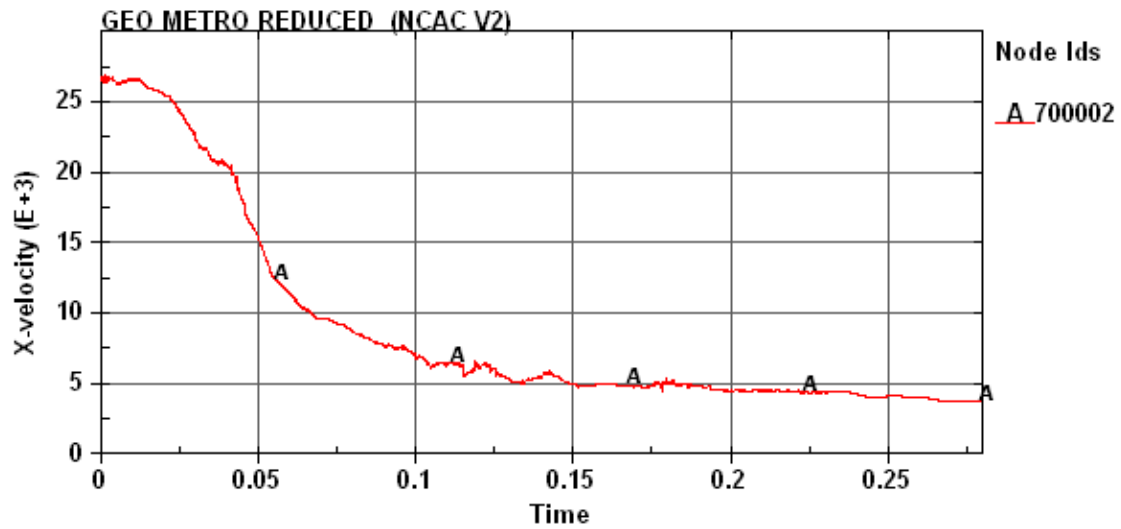


Figura 50: Gráfica de los valores de la velocidad

Videos comparativos del ensayo experimental y la simulación numérica del poste de tráfico mediante programas informáticos de ingeniería.



Figura 51: Imagen ensayo real (tiempo: 0.0 seg.)



Figura 52: Imagen simulación (tiempo: 0.0 seg.)



Figura 53: Imagen ensayo real (tiempo: 0.012 seg.)

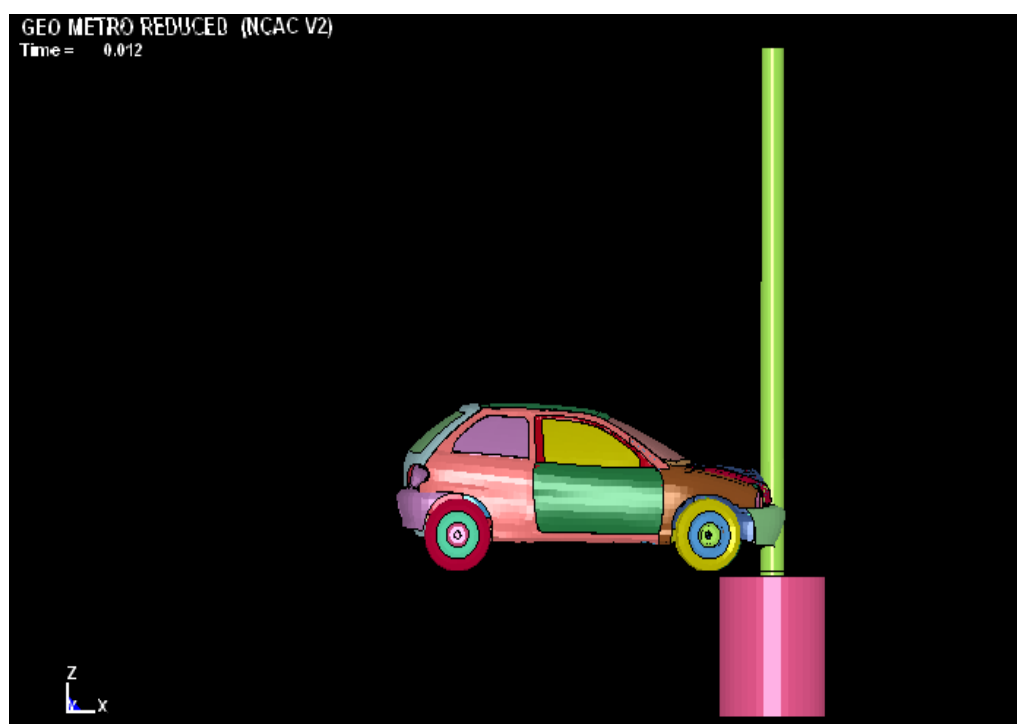


Figura 54: Imagen simulación (tiempo: 0.012 seg.)



Figura 55: Imagen ensayo real (tiempo: 0.026 seg.)

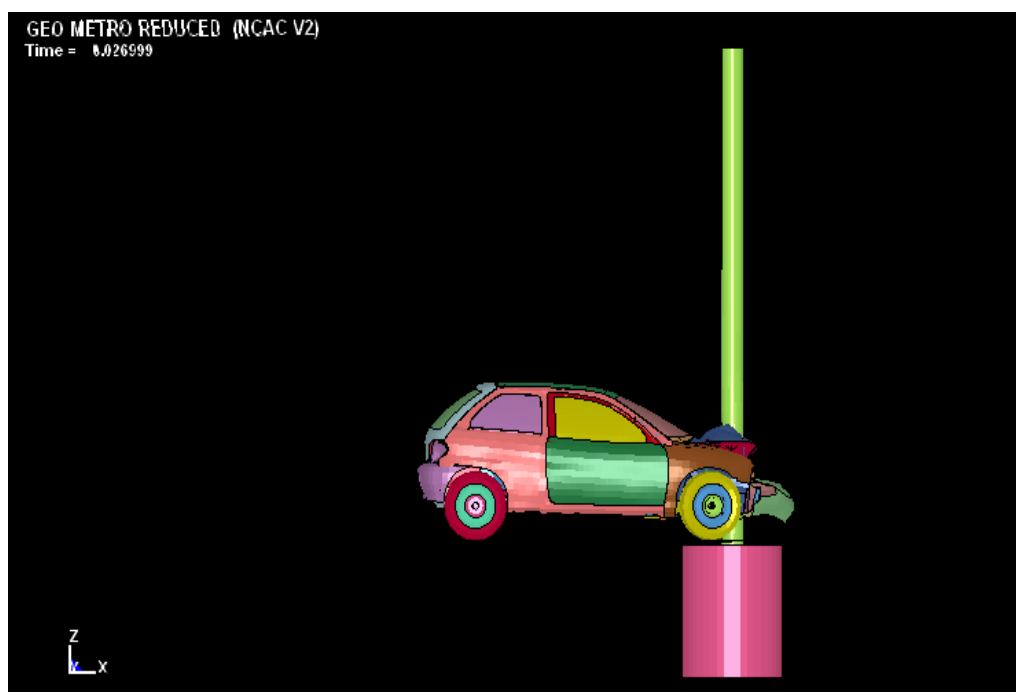


Figura 56: Imagen simulación (tiempo: 0.026 seg.)



Figura 57: Imagen ensayo real (tiempo: 0.177 seg.)

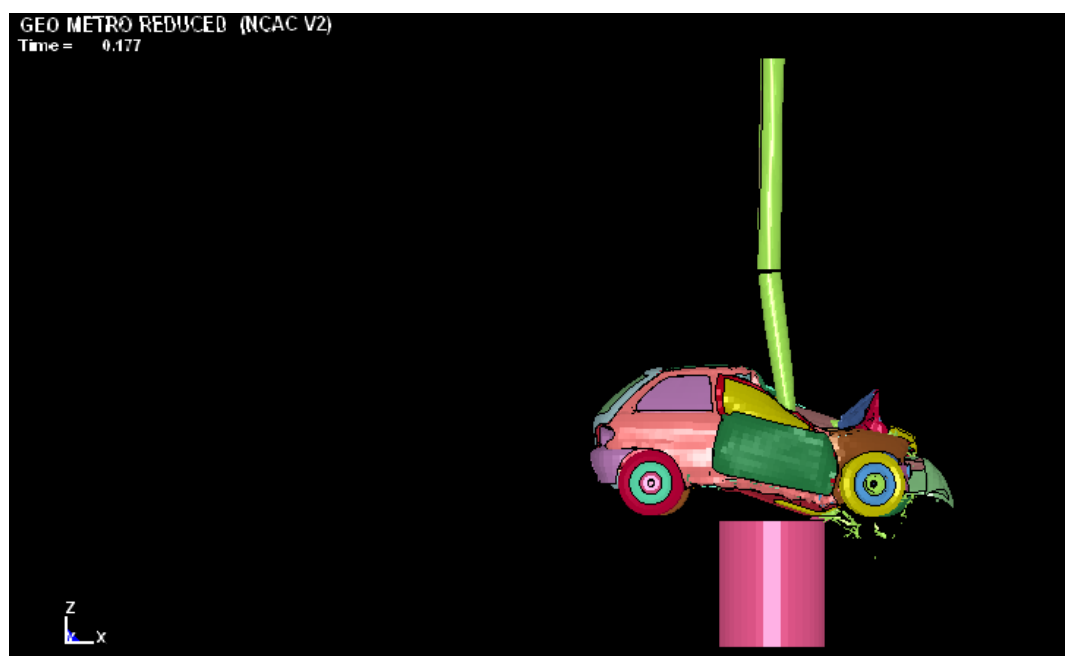


Figura 58: Imagen simulación (tiempo: 0.177 seg.)



Figura 59: Imagen ensayo real (tiempo: 0.279 seg.)



Figura 60: Imagen simulación (tiempo: 0.279 seg.)

En esta tabla poner también los experimentales para que se vea la diferencia

Poste Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio	
Ensayos mediante simulación	
Velocidad de impacto	ASI
35km/h	0.98
71km/h	1.63
100km/h	1.77

Tabla 9: Tabla-resumen ensayos realizados mediante simulación

7.2.- RESULTADOS POSTE DE ACERO:

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales en los diferentes ensayos a velocidades de 35km/h y 100Km/h son los siguientes.

Fabrikat: Petitjean Test house: Helsinki University of Technology		
Dimension: konisk ottekant Ø198 - Ø88 mm		
Materiale: 2 mm stålplade i S 235 JR G2		
Mastehøjde: 10,6 m		
Udstyr: Med armatur		
Rapport nr. 70923 (35 km/h)	Rapport nr. 71030 (100 km/h)	
Impact speed: 35 km/h	Impact speed: 99 km/h	Exit speed: ? km/h
ASI: 0,5	ASI: 0,8	

Tabla 10: Datos poste de Acero

* Resultados obtenidos en el proyecto:

- Ensayo poste de Acero a 35Km/h:

CHNLSSCALE (27/06/2012 10:40:20)

Input channels:
[1]/700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]/ChnUnScale (7)

CHNLSSCALE (27/06/2012 10:40:27)

Input channels:
[1]/700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]/ChnUnScale1 (8)

CHNLSSCALE (27/06/2012 10:40:46)

Input channels:
[1]/700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]/ChnUnScale2 (9)

CHNASICAL C (27/06/2012 10:41:35)

Input channels:
[1]/time (1)
[1]/x (7)
[1]/y (8)
[1]/z (9)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 0.57

Result channels:
[1]/ASI (10)

The ASI calculation has been successfully completed

Figura 61: Imagen resultados ASI

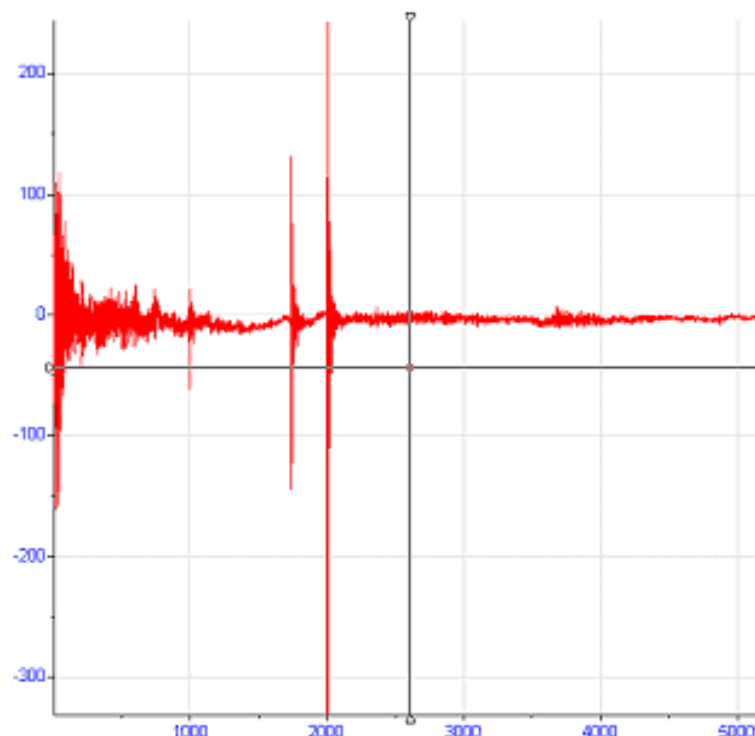


Figura 62: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

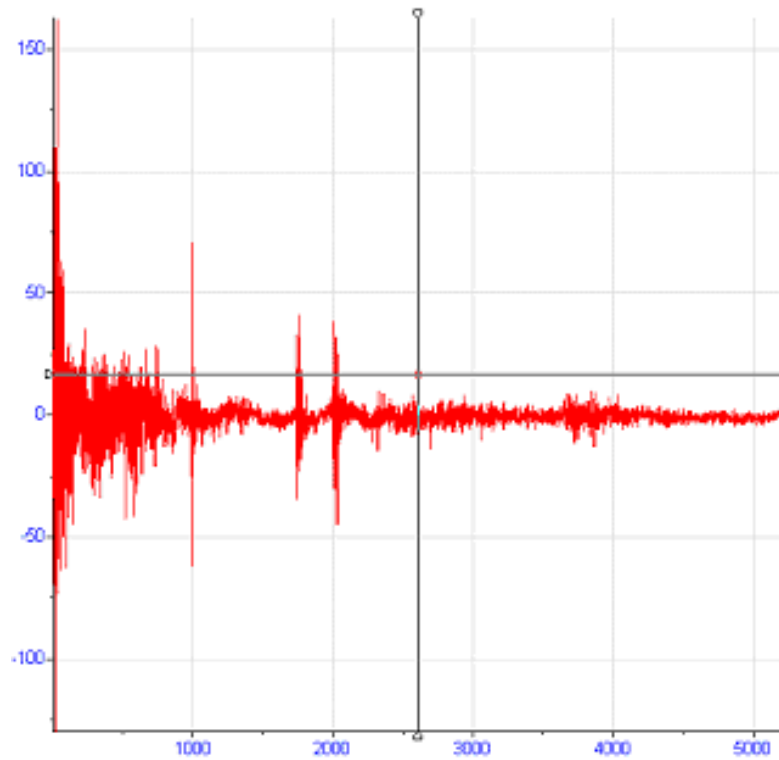


Figura 63: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

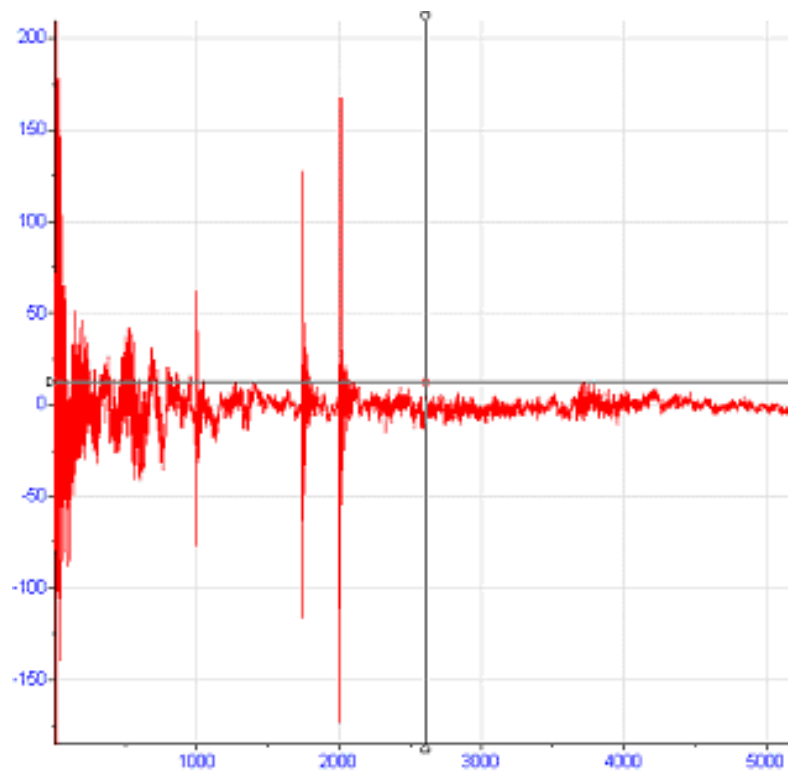


Figura 64: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

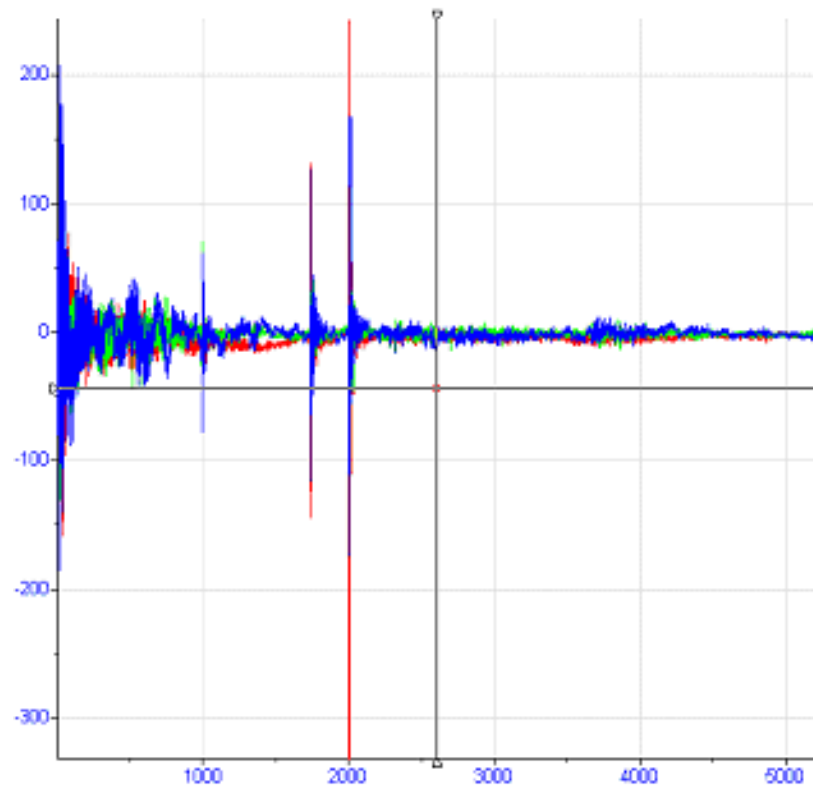


Figura 65: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s²) vs tiempo (s)

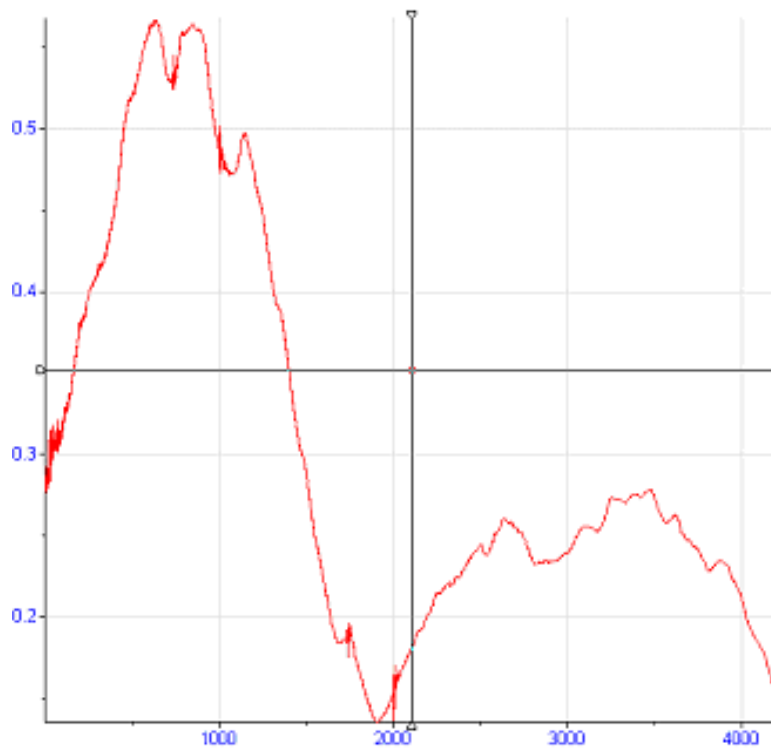


Figura 66: Gráfica de los valores del ASI

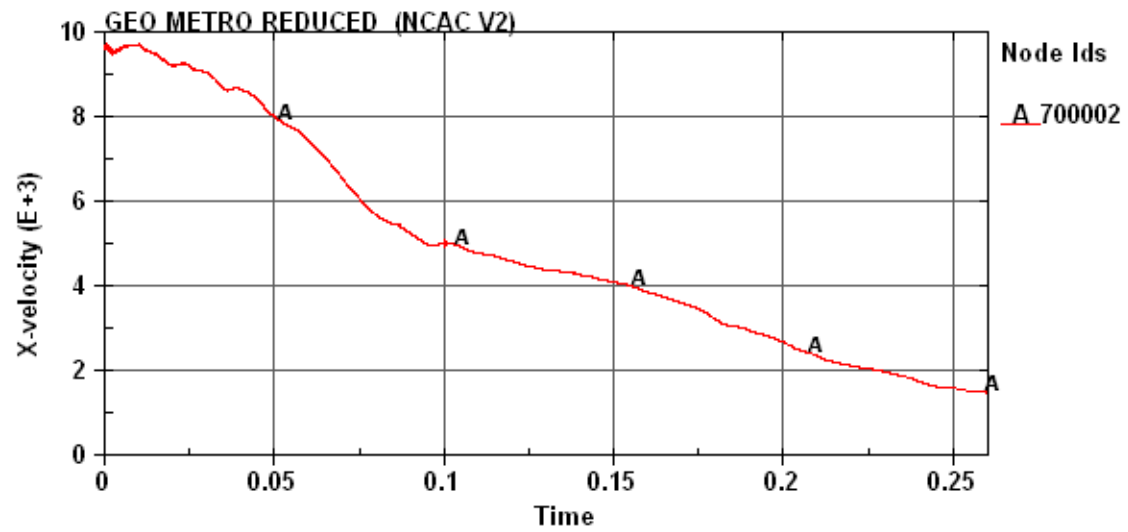


Figura 67: Gráfica de los valores de la velocidad

- Ensayo poste de Acero a 70Km/h:

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:18:20)

Input channels:
[1]700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]0nLinScale (6)

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:18:26)

Input channels:
[1]700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]0nLinScale1 (7)

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:18:33)

Input channels:
[1]700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]0nLinScale2 (8)

CHNASICAL.C (27/06/2012 11:19:07)

Input channels:
[1]time (1)
[1]x (6)
[1]y (7)
[1]z (8)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 0.98

Result channels:
[1]ASI (9)

The ASI calculation has been successfully completed!

Figura 68: Imagen resultados ASI

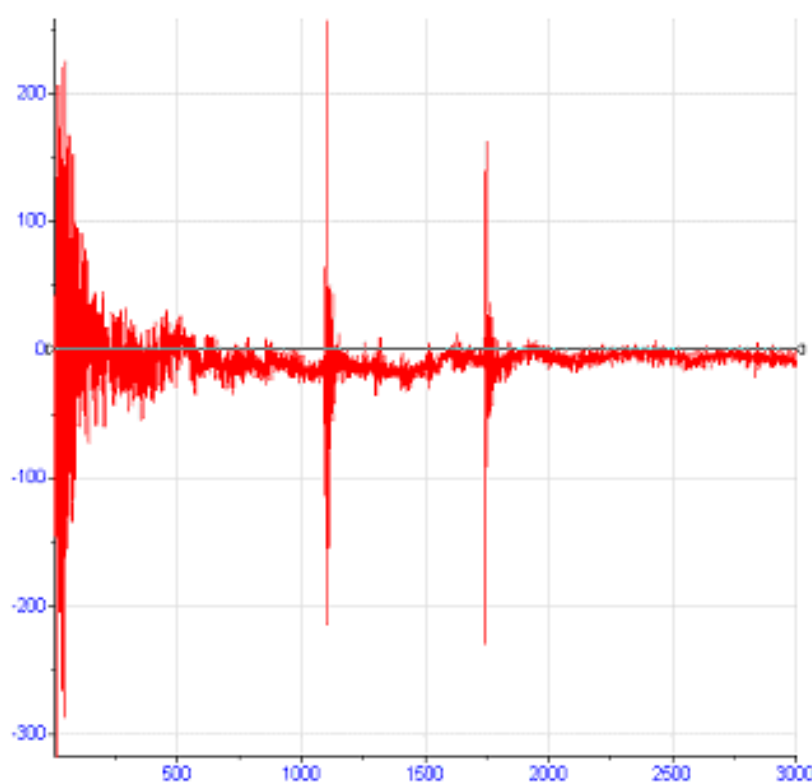


Figura 69: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

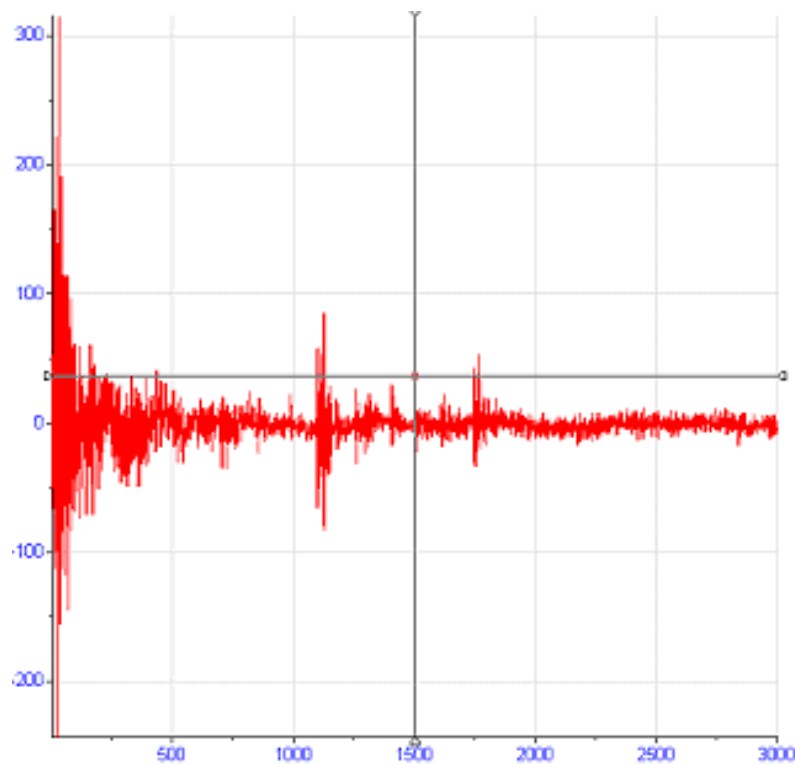


Figura 70: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

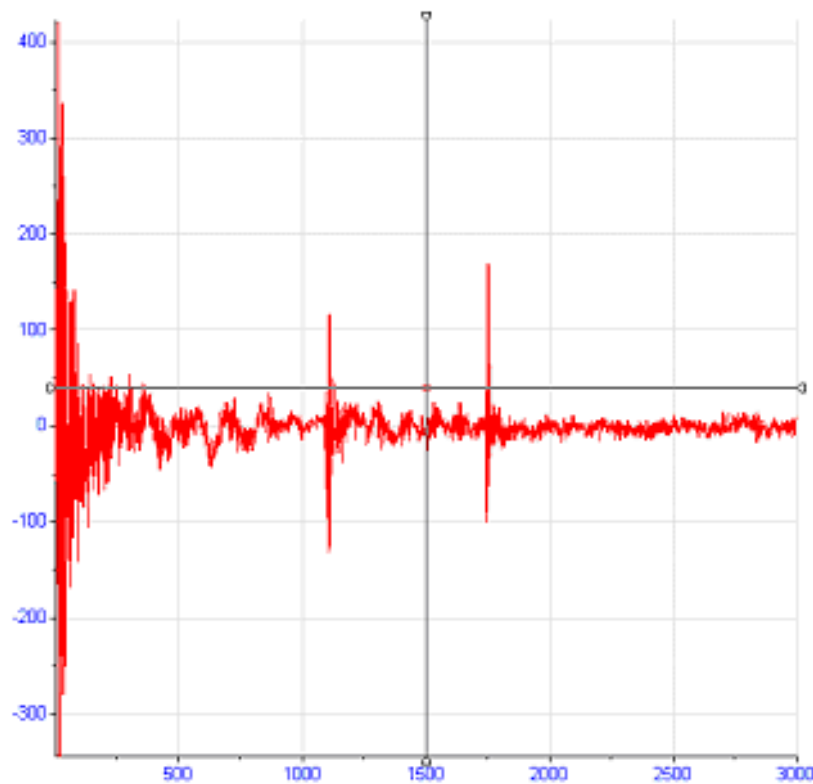


Figura 71: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

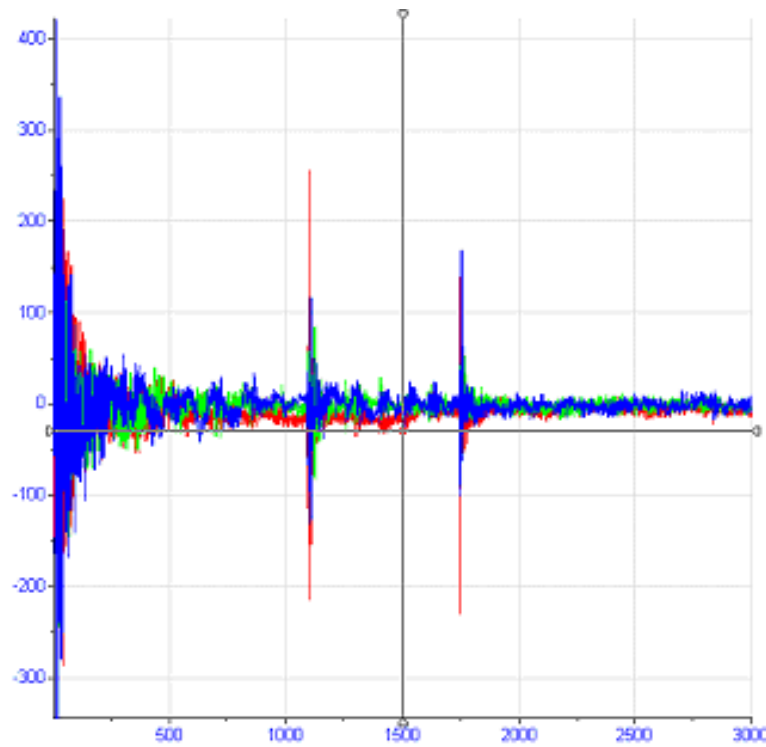


Figura 72: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s^2) vs tiempo (s)

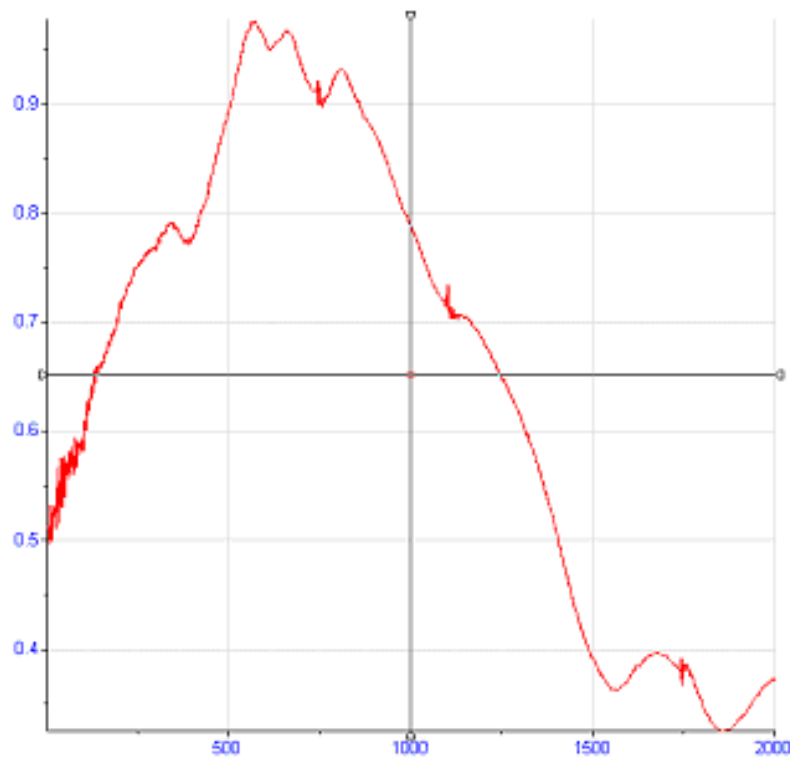


Figura 73: Gráfica de los valores del ASI

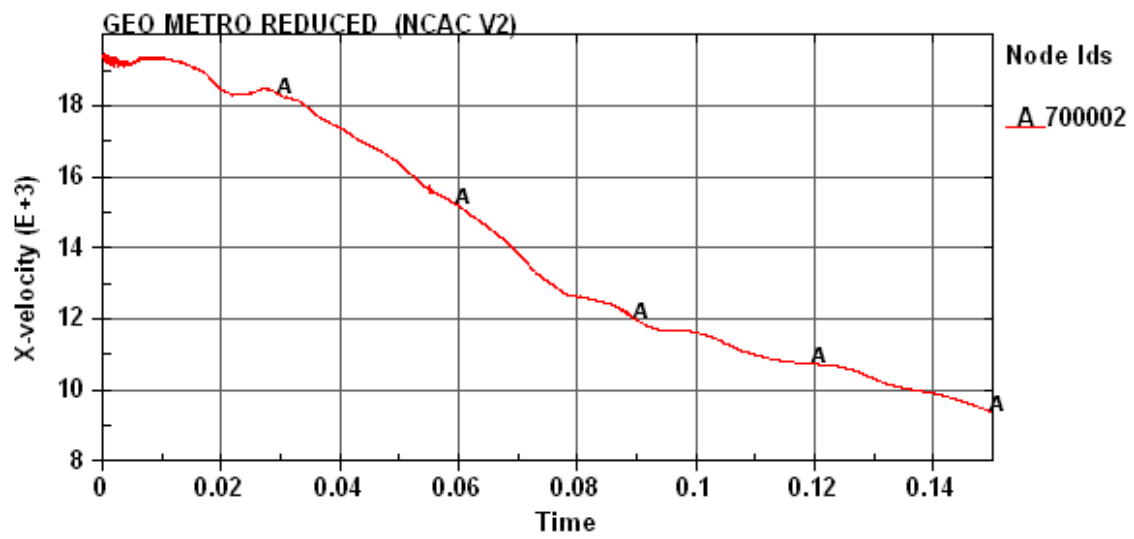


Figura 74: Gráfica de los valores de la velocidad

- Ensayo poste de Acero a 100Km/h:

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:08:53)

Input channels:
[1]/700002 X-acceleration (2)

Result channels:
[1]/ChnlInScale (5)

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:09:00)

Input channels:
[1]/700002 Y-acceleration (3)

Result channels:
[1]/ChnlInScale1 (7)

CHNLINSCALE (27/06/2012 11:09:06)

Input channels:
[1]/700002 Z-acceleration (4)

Result channels:
[1]/ChnlInScale2 (8)

CHNASICALC (27/06/2012 11:09:37)

Input channels:

[1]/time (1)
[1]/x (6)
[1]/y (7)
[1]/z (8)

Result parameters:
Version: 1.0
ASI maximum value: 0.83

Result channels:
[1]/ASI (9)

The ASI calculation has been successfully completed

Figura 75: Imagen resultados ASI

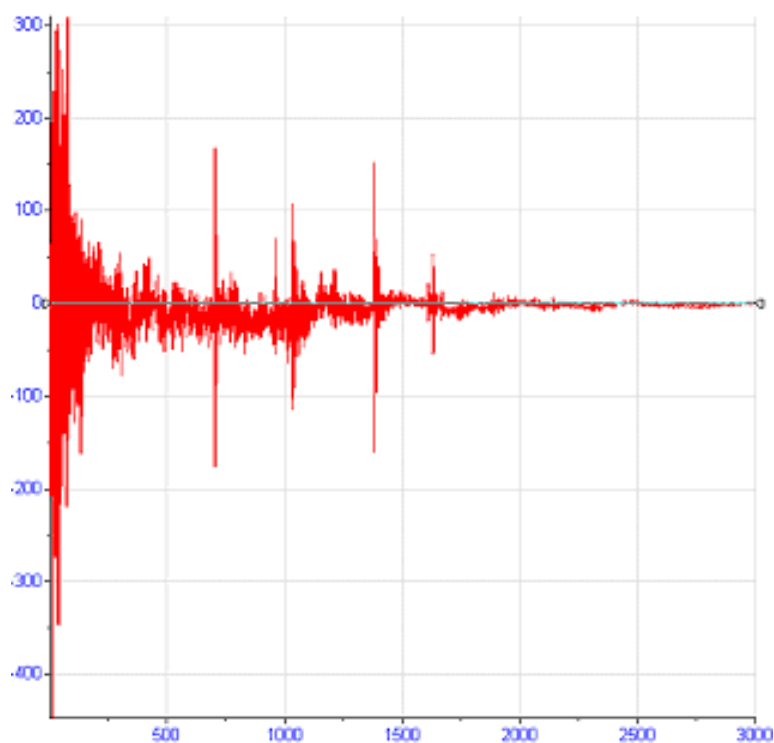


Figura 76: Gráfica de la aceleración en el eje X (m/s^2) vs tiempo (s)

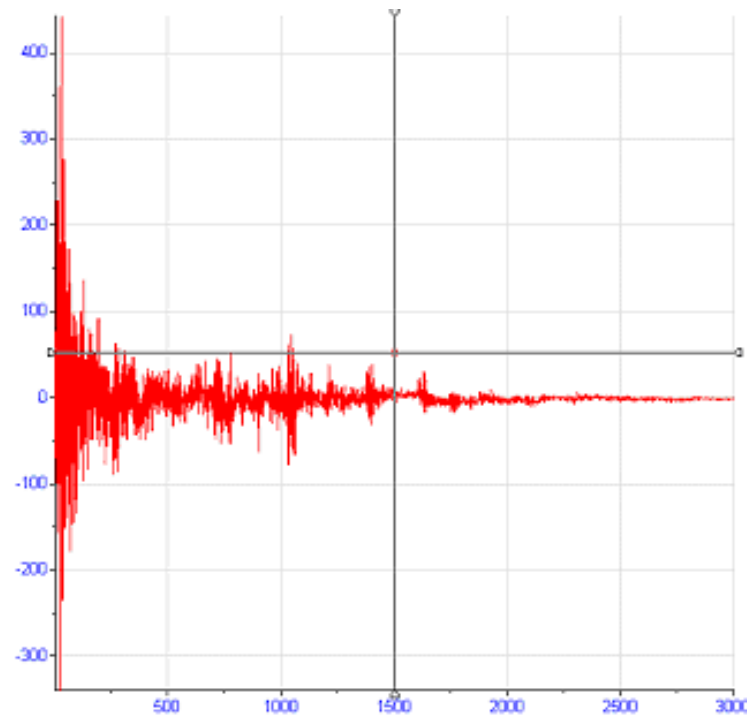


Figura 77: Gráfica de la aceleración en el eje Y (m/s^2) vs tiempo (s)

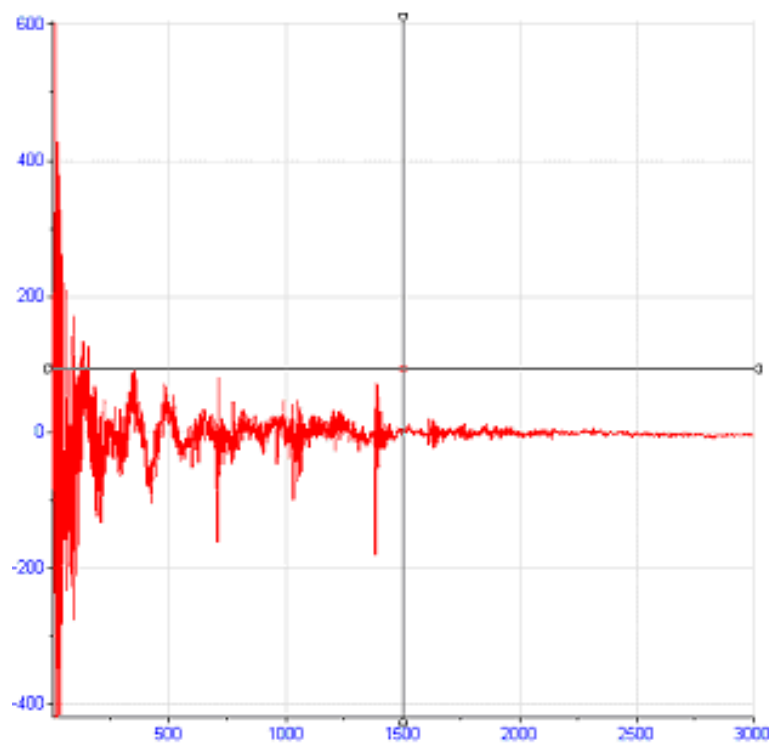


Figura 78: Gráfica de la aceleración en el eje Z (m/s^2) vs tiempo (s)

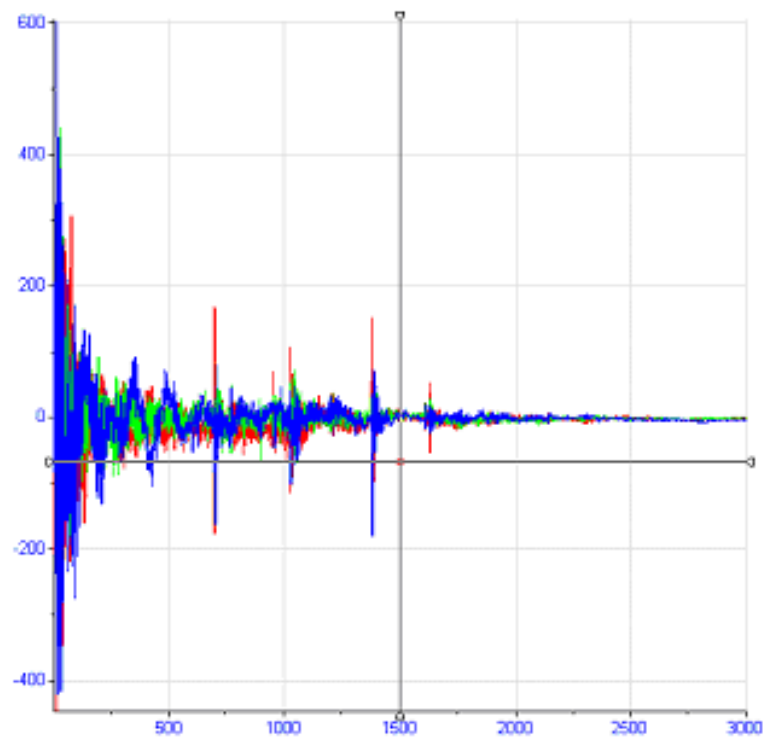


Figura 79: Gráfica de las 3 aceleraciones (m/s^2) vs tiempo (s)



Figura 80: Gráfica de los valores del ASI

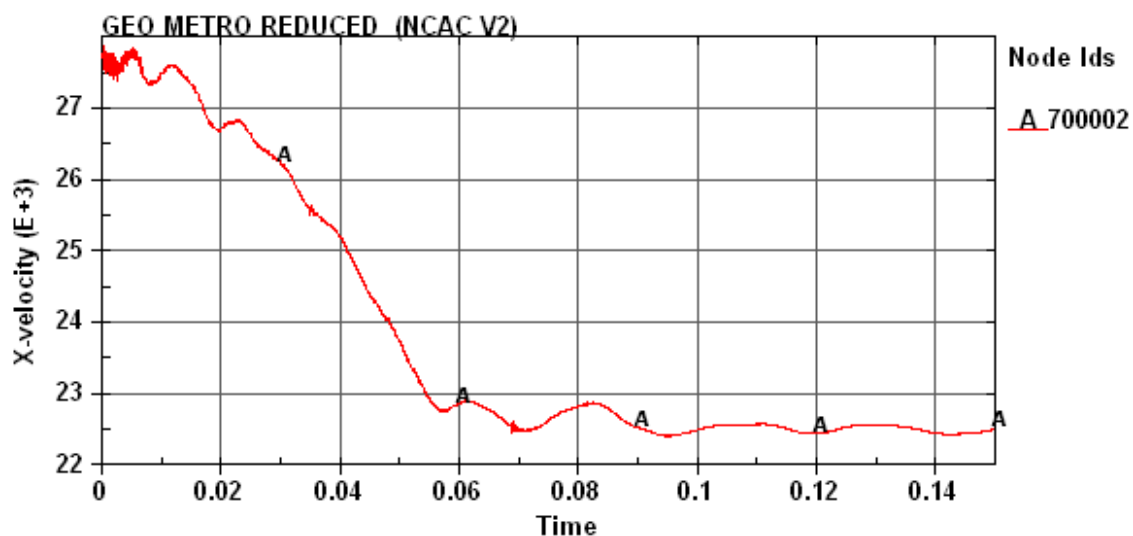


Figura 81: Gráfica de los valores de la velocidad

Poste Acero	
Ensayos mediante simulación	
Velocidad de impacto	ASI
35km/h	0.57
70km/h	0.98
100km/h	0.83

Tabla 11: Tabla-resumen ensayos realizados mediante simulación

7.3.- COMPARATIVA DE RESULTADOS:

Poste Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio			
Ensayos mediante simulación		Ensayos experimentales	
Velocidad de impacto	ASI	Velocidad de impacto	ASI
35km/h	0.98	35km/h	0.9
71km/h	1.63	71km/h	0.9
100km/h	1.77	102km/h	0.9

Tabla 12: Tabla-resumen comparativa de los ensayos realizados mediante simulación

Poste Acero			
Ensayos mediante simulación		Ensayos experimentales	
Velocidad de impacto	ASI	Velocidad de impacto	ASI
35km/h	0.57	35km/h	0.5
70km/h	0.98	70km/h	-
100km/h	0.83	100km/h	0.8

Tabla 13: Tabla-resumen comparativa de los ensayos realizados mediante simulación

8.- CONCLUSIONES

Una vez realizado el proyecto y con los resultados obtenidos se puede observar la correlación de los ensayos numéricos realizados mediante herramientas informáticas con los ensayos experimentales para el diseño de elementos de señalización.

En este proyecto se han ido encontrando problemas relacionados sobretodo con las propiedades de la fibra de vidrio ya que ha sido muy complicado obtener unas propiedades exactamente iguales a las utilizadas por la empresas Jerol, lo cual ha producido una ligera variación en los resultados del poste de Poliéster Reforzado Con Fibra de Vidrio para las velocidades de 71Km/h y 100Km/h. Gracias a ello se ha conseguido mas experiencia a la hora de plantear y analizar bien la situación y poder resolver los problemas de la forma más adecuada posible.

La principal ventaja en la utilización de programas informáticos de ingeniería para diseñar postes de señalización, utilizando el método de elementos finitos, es que se consiguen obtener unos resultados prácticamente iguales a los obtenidos con los ensayos reales pero con un coste muy inferior. Además conseguimos resultados de forma más rápida y nos permite modificar materiales o las propiedades de los mismos en función de los datos o características que se quieran obtener.

También considero interesante el hecho de adquirir habilidades al tener que aprender por uno mismo a utilizar programas nuevos, e incluso en otros idiomas, que son las herramientas necesarias para llevar a cabo nuestros trabajos de ingeniería de una manera rápida y eficaz.

8.1.- BIBLIOGRAFIA:

1.- *ELASTICIDAD Y RESISTENCIA DE MATERIALES*, Apuntes de la asignatura 2º Curso de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica.

2.- *TEORIA DE ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES*, Apuntes de la asignatura 3º Curso de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica.

3.- *Manual LS – DYNA 971*.

4.- *MSC PATRAN Reference Manual*, F.E.M. Modeling Theory Manual, MSC Software, 2001.

8.2.- CONSULTAS WEB:

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.mscsoftware.com>

ANEXOS

ANEXO A

LA TEORÍA DE LOS ELEMENTOS FINITOS

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico que se utiliza para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales. Su evolución y desarrollo desde mediados del siglo XX hasta nuestros días ha sido constante y en la actualidad puede considerarse como el método numérico más utilizado en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería. Son muchas las facetas de la ingeniería en las que se precisa determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un continuo elástico. Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales.

El MEF consiste en su formulación física en la división del dominio espacial, ya sea uni, bi o tridimensional en una serie de subdominios de geometría simple, a los cuales se les denomina elementos. Estos elementos se encuentran formados por una serie de puntos que definen su geometría y se denominan nodos. En el interior de cada elemento se interpola una función de desplazamientos que se formula en función de los valores de desplazamientos que existen en los nodos.

La forma de trabajo de estos elementos consiste en aplicar las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento y obtener una relación entre la fuerza aplicada sobre los elementos y los desplazamientos de los nodos. Esta relación se expresa mediante la matriz elemental, la cual depende del número de nodos, situación de estos, material utilizado, geometría de elementos y tipo de problema.

Dependiendo del tipo de formulación del problema se determina si el problema es lineal (elasticidad lineal) o si no es lineal (grandes desplazamientos o deformaciones, comportamiento del material complejo).

A continuación se expresa el proceso de cálculo con el MEF:

1. Planteamiento de continuidad de desplazamientos y equilibrio de fuerza entre elementos.
2. Sistema de ecuaciones globales de la estructura.
3. Tipo de formulación inicial (lineal o no lineal).
4. Resolución.
5. Obtención de los desplazamientos nodales (incógnitas básicas).
6. Obtención de otras variables: deformaciones y tensiones.

La aproximación de los elementos finitos no requiere la selección del tipo de ecuación que será usada para modelar la estructura. Los códigos disponibles en el mercado han definido previamente los elementos para los cuales la matriz de rigidez individual del elemento ha sido resuelta.

De esta forma, el usuario necesita definir únicamente el tipo de elemento. Una vez que el elemento ha sido definido el procedimiento es el siguiente:

1. Decidir la geometría requerida para modelar correctamente el problema.
 - 1D (cables, vigas)
 - 2D (tensión o deformación plana)
 - 2D axisimétrica (láminas y sólidos de revolución)
 - 3D (láminas y sólidos)
2. Seleccionar el tipo de elemento y formular la matriz de rigidez del elemento si se requiere
 - Definir la matriz que relaciona las deformaciones del elemento con los desplazamientos nodales $\{B\}$
 - Definir la matriz de la ley constitutiva $\{D\}$
 - Aplicar una rutina numérica cuadrática para evaluar la rigidez del elemento sobre el volumen del elemento,

$$\int \{B\}^T \{D\} \{B\} dv$$

El MEF consiste en dividir un medio continuo en un número finito de partes cuyo comportamiento se especifica con un número finito de parámetros, pasando de un sistema con infinitos grados de libertad a otro con un número fijo, con propiedades físicas y

geométricas muy parecidas, en el que las ecuaciones de equilibrio se pueden expresar mediante un sistema algebraico de ecuaciones simultáneas con un determinado número de incógnitas, obteniéndose la solución del sistema completo mediante el ensamblaje de las soluciones para cada elemento finito.

3. Discretizar la geometría en una malla.

- Definir las localizaciones de los nodos de los elementos.
- Agudizar el mallado en zonas de concentración de tensiones

4. Definir las propiedades locales del elemento.

- Anisótropo
- Isótropo
- Ortótropo

5. Siguiendo los pasos anteriores obtenemos la matriz de rigidez del elemento.

6. Transformar la matriz de rigidez local del elemento en coordenadas globales.

7. Obtener el ensamblaje de la matriz de rigidez suponiendo las matrices de rigidez globales de los elementos.

8. Definir las condiciones de contorno aplicadas al sistema y formular el vector de fuerzas nodales $\{F\}$ así como definir desplazamientos, nodos fijos, contactos, cargas, temperatura, etc.

9. Resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas lineales resultante usando los métodos apropiados.

10. Resolver tensiones y deformaciones locales de elementos. Calcular tensiones y deformaciones en lámina y comparar con los criterios de rotura. Una vez que se han establecido las características de los nodos o los elementos, las ecuaciones individuales deben ensamblarse para formar un sistema global de ecuaciones que describa la respuesta general del sistema.

Este ensamblaje, el cual aparece en el punto 9, da lugar a un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales cuya forma básica es la siguiente.

$$[K]\{u\} = \{f\}$$

En donde:

$[K]$ es una matriz ($n \times n$) de rigidez del sistema;

$\{u\}$ es un vector columna ($n \times 1$) que normalmente representa los términos de desplazamiento del sistema que son desconocidos.

$\{f\}$ es un vector columna ($n \times 1$) que normalmente son las cargas aplicadas que son conocidas.